

基于多源卫星数据的南海油气井平台 遥感提取方法研究

——以湄公盆地周边海域为例

王明珠^{1,2}, 陈颖民^{1,3}, 韩飞², 陈婕⁴, 许国强^{1,2}, 李柏权⁴, 江佳琳²

(1.海南省海洋地质资源与环境重点实验室 海口 570206; 2.海南省地质综合勘察院 海口 570206;
3.海南省地质局 海口 570206; 4.海南地质综合勘察设计院 海口 570206)

摘要:文章以湄公盆地周边海域为研究区,利用遥感技术手段,综合多时相、多源卫星数据,探讨不同数据源海上油气井平台提取方法。本次研究,首先基于1992—2018年27景多时相夜间灯光数据和2019年两期SAR数据,分别采用高斯滤波法和双参数CFAR法,实现了全区域油气井平台的自动化提取;然后,针对有确定性资料辅助判定的区域,采用人工目视解译的方法,对长时间序列Landsat-8 OLI及YG24号光学卫星影像进行提取,并将解译结果作为标准数据,用于验证前两种自动提取方法的精度。结果表明:夜间灯光影像数据易获取、成本低,提取方法简单,而SAR影像提取结果的精度高、流程烦琐,建议根据多源卫星数据的特点相互结合,实现快速、高效、精确的信息提取,应用于海上油气井平台监测。

关键词:南海;油气井平台;遥感;多源卫星影像;湄公盆地

中图分类号:TP75;TP79;P7

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2022)03-0072-07

Remote Sensing Extraction Methods for Drilling Platforms in South China Sea Based on Multi-Source Satellite Image: Taking the waters around the Mekong Basin as an example

WANG Mingzhu^{1,2}, CHEN Yingmin^{1,3}, HAN Fei², CHEN Jie⁴, XU Guoqiang^{1,2},
LI Boquan⁴, JIANG Jialin²

(1.The Key Laboratory of Marine Geological Resources and Environment of Hainan Province, Haikou 570206, China;
2.Comprehensive Institute of Geological Investigation of Hainan Province, Haikou 570206, China; 3.Hainan Geological Bureau, Haikou 570206, China; 4.Hainan Institute of Geological Investigation and Design, Haikou 570206, China)

Abstract: In this paper, the waters around the Mekong Basin were taken as the study area and the methods for extracting offshore drilling platforms were discussed. These methods utilized multi-temporal and multi-source remote sensing image. Firstly, the study automated the extraction of

收稿日期:2021-05-17;修订日期:2022-02-22

基金项目:高分辨率对地观测系统重大专项(GFZX0404130302)。

作者简介:王明珠,物探及遥感工程师,研究方向为遥感地质

通信作者:陈颖民,高级工程师,研究方向为遥感和矿产地质

drilling platforms by using Gaussian filtering method and two-parameter CFAR method, respectively, based on 27 scenes of multi-temporal nighttime lighting data 1992—2018 and two periods of SAR data in 2019. Then, for areas with deterministic information, visual interpretation was used to extract drilling platforms from long time series Landsat-8 OLI and YG24 optical satellite images. The results were used as standard data to test the accuracy of the previous two methods. Results showed that Nighttime lighting data was easy to obtain, low cost, and simple to extract information. However, the accuracy of SAR image extraction results was higher, but the process was cumbersome. In practice, according to the characteristics of multi-source satellites, it was recommended to combine the advantages of each other to optimize the extraction process and improve the accuracy of the results.

Keywords: South China Sea, Drilling platforms, Remote sensing, Multi-source imagery, Mekong Basin

0 引言

海上油气钻井平台的数量在一定程度上能够反映该海域油气资源的开发热度^[1]。因此,当务之急需查清南海油气井平台开采规模、数量、分布位置、增长速度等基本情况。只有详尽的海洋地质勘查数据,才能科学合理地开发利用海洋资源,维护海洋自然生产能力,为维护海洋权益提供有力的数据支撑^[2-3]。

南海海域面积广阔,远离大陆,难以开展常规的实地验证调查。遥感技术具有宏观、快速、直观、多时相、不受地理位置限制等优势,随着遥感技术不断发展,其在海洋调查中已广泛应用^[4]。同时,遥感卫星数据越来越丰富,存档数据齐全,为全面开展南海油气井平台调查提供了契机。目前,海上油气井平台的提取研究工作已逐步开展,技术不断完善^[5-6]。本研究基于中、高等空间分辨率、长时间序列的多源卫星

数据,对油气井平台提取技术进行了探索,对比分析了各种数据源提取目标物技术的优缺点。

1 研究区域及数据源

1.1 研究区概况

本研究选择位于南海西部的涠公盆地海域作为研究区。涠公盆地,又名头顿盆地或九龙盆地,面积约 4.1 万 km²,海域主体水深小于 100 m。该盆地呈 NE—SW 向展布,延伸进入南海海域。涠公盆地地处涠公河口,物源充足,为海洋油气田集中区,前景可观^[7]。目前该盆地勘探程度较高,油气钻井平台较为密集,因此选择该区域作为研究区。

1.2 数据源

本研究选取了多时相、多分辨率的多源卫星数据对油气井平台提取方法进行研究,包含的影像数据如表 1 所示。

表 1 各类型影像数据

序号	数据类型	数量/景	时相	分辨率/m
1	DMSP/OLS 夜间灯光数据	22	1992—2013 年	500
2	VIIRS/NPP 夜间灯光数据	5	2014—2018 年	
3	YG1-2SAR 影像	9	2019 年 7—8 月	1.5
4	Landsat-8 OLI 影像	131	1992—2018 年	30
5	YG24 号影像	13	2019 年 4—8 月	1

2 研究方法

2.1 基于 VIIRS/NPP 或 DMSP/OLS 夜间灯光数据的油气井平台提取方法

VIIRS/NPP 或 DMSP/OLS 传感器主要是采

集夜间灯光、火光等产生的辐射信号^[8],即夜间灯光数据能够直接明了地反映人类活动产生的灯光、火光、舰船灯光以及油气井平台在夜间作业时开启的照明灯或信号灯等灯光。在海上,无灯光区域为海

水,影像上呈黑色,其像元值(Digital Number, DN)为 0。而灯光区域的 DN 大于 0,与黑色背景值的海水对比,差异明显。DN 越高,目标物存在的可能性就越大。因此可以利用夜间灯光数据的波普信息特征,进行海上目标物的提取,即提取灯光数据区域,初步判断海上油气井平台分布位置^[9]。依据不同地物的像元值特性,本研究采用高斯滤波法(Gaussian filtering),基于夜间灯光数据对油气井平台进行提取研究。

南海海域海上灯光主要包括油气井平台照明设备、舰船灯光,以及陆地和部分岛礁上的人类活动的照明灯或灯塔。因此需要剔除大量虚警信息,消除干扰信息。对于人类活动产生的灯光信息,可通过制作陆地掩膜进行海陆分离,消除干扰灯光信息;对于舰船灯光的干扰,可通过多期影像进行对比分析,通过它们的相对位置是否发生移动^[10],排除舰船信息。

提取方法流程:①制作陆地掩膜,进行海陆分离;②提取每景影像中的疑似目标物;③基于时间序列影像数据,成对筛选疑似目标物;④叠加合成目标物,形成油气井平台点集数据。具体流程如图 1 所示。

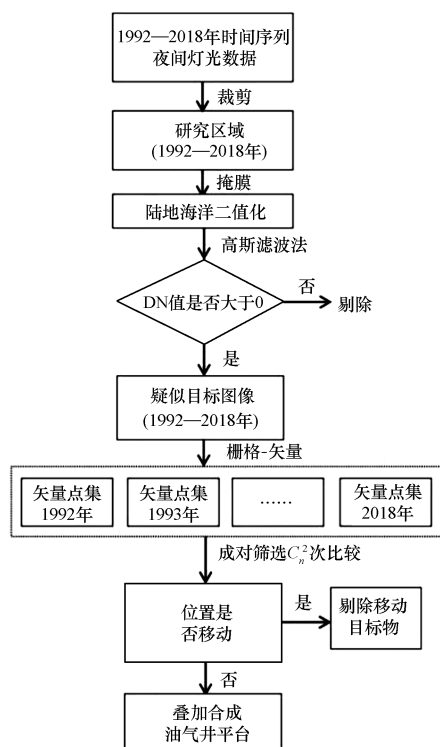


图 1 夜间灯光数据提取流程

2.1.1 制作陆地掩膜

海上油气井平台多分布在远离陆地的海域,为了消除陆地灯光干扰信息,本研究利用海岸线数据,并向海洋方向缓冲 5 km,制作陆地掩膜。

2.1.2 提取海面疑似目标物

在海洋区域,夜间灯光影像的 DN 值由目标灯光像元值(DN>0)和海水的黑暗背景像元值(DN=0)构成。DN 值越高,则代表存在油气井平台的可能性就越大;DN 值越小,代表存在的可能性越低。

针对目标灯光区域与海水像元值差异特征,本研究利用高斯滤波法将夜间灯光影像中的灯光信息与海水区域剥离。设置 DN>0,提取像元值大于 0 的像元或像元群,即疑似目标灯光区域。并进行栅格矢量化转成面文件,再将面文件转化成点文件。本次获取 1992—2018 年共 27 组疑似目标物矢量点集。

2.1.3 成对筛选疑似目标物,形成最终油气井平台点集数据

上述提取的疑似目标物可能是油气井平台或舰船。这两种目标物具有明显的动静差异,油气井平台位置相对不变,而舰船具有明显的移动特征^[11-12]。依据两者的动静显著特征,利用上述提取的 27 组疑似目标物的点集数据,进行两两成对筛选,剔除舰船移动目标物,保留位置未发生相对移动的目标物。27 组数据集成对筛选对比,需进行 $C_n^2 = n \times (n-1) / 2 = 351$ 次。

最后将成对筛选后的点集进行叠加,形成最终的油气井平台成果数据,该区域利用夜间灯光数据共提取油气井平台 74 个,油气井分布图如图 2 所示。

2.2 基于 SAR 影像数据的油气井平台提取方法

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)是先进的成像微波遥感器,不受天气影响,可全天候和全天时工作^[13]。数据包含十分丰富的海洋信息,近几年 SAR 遥感数据在浅海水深、海浪、海表层流、海面风场、海面溢油、海上舰船和海岸带变迁等监测方面得到广泛应用^[14-15]。

海上油气井平台和舰船均属于海上目标物,具有相似性,本研究借鉴海上舰船检测方法,选择了

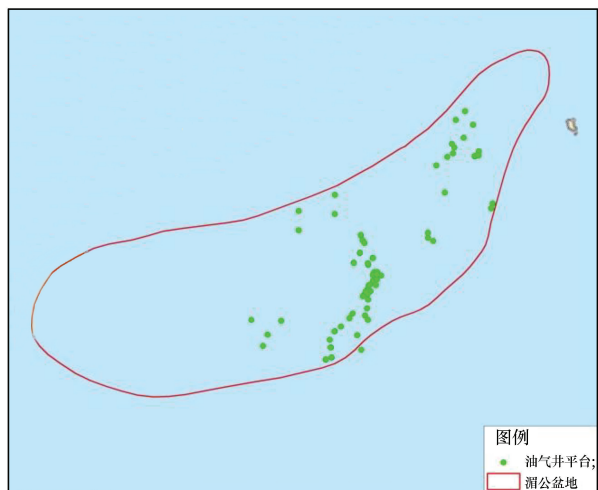


图2 涠公盆地基于夜间灯光数据提取油气井平台结果

应用最为普遍的双参数恒虚警率(Constant False Alarm Rate, CFAR)算法,基于 SAR 影像数据探索油气井平台提取方法。

提取流程:①制作陆地掩膜,与夜间灯光数据原理一样,利用海岸线数据制作掩膜,进行海陆分离,消除陆地干扰信息;②图像滤波处理,抑制斑点噪声;③对两期 SAR 影像分别提取海上疑似目标物;④对比同区域、两期影像检测的目标物,依据油气井平台的静止特性,提取油气井平台数据。具体流程如图3所示。

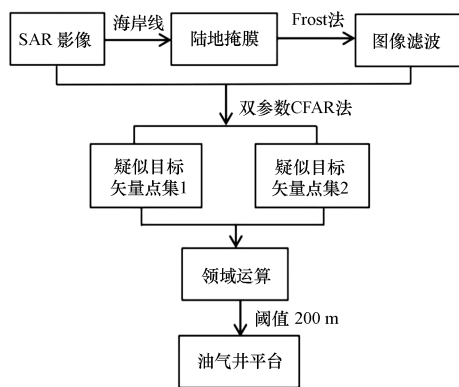


图3 SAR 影像提取流程

2.2.1 图像滤波处理

斑点噪声是 SAR 遥感图像所固有的,是不可避免的,且是随机分布的。本研究采用 Frost 滤波法抑制斑点噪声^[16]。

2.2.2 提取海上疑似目标物

提取的海上目标物可能包含油气井平台和舰船,它们均为金属结构,在 SAR 图像上呈现为亮度值较高的目标,背景海面及其杂波则呈现为暗色。

双参数 CFAR 法是一种经典的目标检测算法,在海洋目标物检测上应用较多。双参数 CFAR 算法检测需要 3 个滑动窗口^[17]:目标窗口 T、保护窗口、背景窗口 B(图4)。目标窗口是指待检测的目标物的大小;保护窗口是为了防止检测目标泄露在背景窗口中,这里将保护窗口面积设为目标窗口的 2 倍;背景窗口用于背景海面杂波统计,将背景窗口设为保护窗口面积的 3 倍。

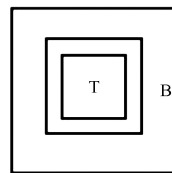


图4 双参数 CFAR 检测窗口

基于 CFAR 算法,分别对两期不同时相的 SAR 影像数据检测海上疑似目标物,其中,第一期(2019 年7月)影像共识别出 80 个疑似目标物。第二期(2019 年8月)共识别出 75 个疑似目标物。

2.2.3 提取油气井平台数据

基于两期 SAR 影像数据检测出来的目标物包含油气井平台和舰船,因此需剔除舰船目标。油气井平台位置相对固定,短时间基本不会发生变化。舰船具有移动性,不同时期内其位置会发生明显变化;再者,舰船在海面运动时会产生长长的尾迹,在影像上以线形特征的形式表现,这是舰船在海上最显著的特征。根据疑似目标物动静的特性,对比两期不同时相影像检测的结果,剔除虚警目标,最终确定油气井平台。

由于两景影像数据在进行图像校正时会产生一定的误差,或是钻井浮船受海浪和风的作用,会有一些的偏离,都可能会导致同一个油气井平台在两景影像上位置不完全重叠。本研究以 200 m 为阈值,对两期疑似目标物点集数据做邻域分析,查找两个矢量点集的重合点。当两期相邻的两个点距小于 200 m 时,判定该点为油气井平台,反之则剔除该点^[18]。

经过对比分析,最终确定,基于 SAR 影像数据提取的油气井平台共 66 个,油气井分布如图 5 所示。

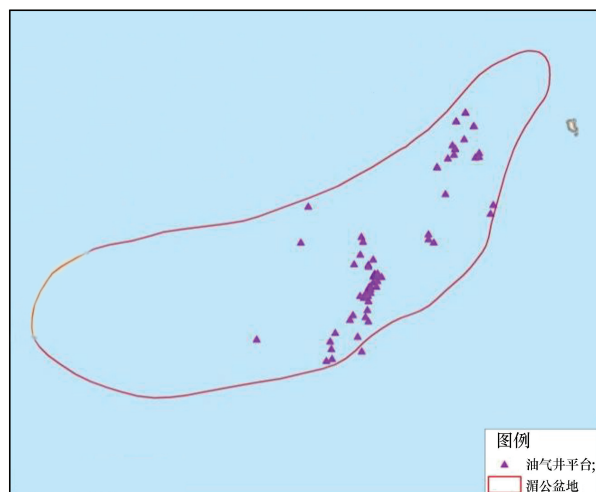


图 5 涪公盆地基于 SAR 数据提取油气井平台结果

2.3 基于多光谱影像数据的油气井平台提取及结果验证

多光谱影像具有直观性,可通过色调、形状、纹理结构等特征直接判别目标物^[19]。本研究搜集了 1992—2018 年 Landsat-8 OLI 时间序列卫星数据以及 2019 年 4—8 月 YG24 号卫星数据。分别对两种多光谱卫星数据进行人工目视解译,均获取油气井平台 61 个。将两组目视解译结果进行对比,其油气井平台地理位置一致。利用收集到的确定性油气井平台资料一一做核对,可判定目视解译获取的 61 个油气井平台与真实油气井数据完全吻合,故目视解译结果可用作前文夜间灯光影像、SAR 影像提取结果对比分析的标准数据,验证上述两种自动提取方法的精度。

基于夜间灯光影像、SAR 影像的自动提取,因其影像时相、分辨率、提取方法不同,提取的油气井位置会存在一定距离的偏差。因此,以标准数据的油气井平台为中心,设置阈值为 200 m 及 500 m 的两个缓冲区。若待验证数据的油气井平台落在阈值为 200 m 的缓冲区之内,则判定该点正确;若该点位于大于 200 m、小于 500 m 的缓冲区内,则判定该点错误,因获取标准数据时已经排除过此范围内存在油气井平台的可能;若该点位于大于 500 m 缓冲区外,则判定为无法确定,即没有确定性资料判

定该点是否为油气井平台。

通过精度对比分析,其结果如表 2 所示。

表 2 不同数据源提取结果对比分析

统计项	夜间灯光数据	SAR 数据
标准数据总数	61	61
自动法提取总数	74	66
正确个数	53	58
错误个数	13	5
无法确定个数	8	3
漏提个数	8	3

注:自动法提取总数=正确个数+错误个数+无法确定个数;标准数据总数=正确个数+漏提个数。

2.3.1 夜间灯光数据与标准数据精度对比分析

由表 2 可知,基于夜间灯光数据提取的 74 个油气井平台中,提取正确的油气井有 53 个,错误的有 13 个,无法确定的有 8 个,同时有 8 个为漏提的油气井,如图 6 所示。

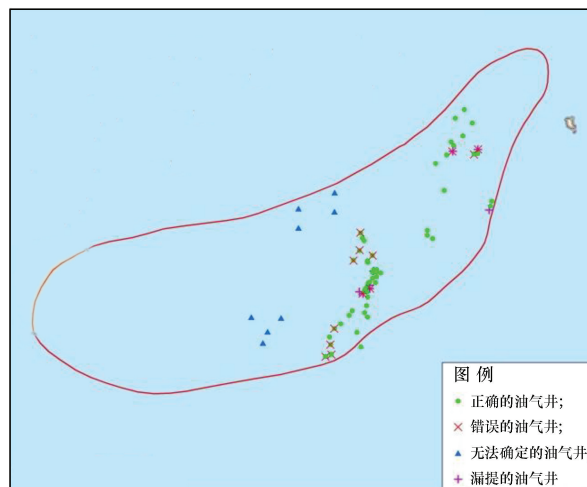


图 6 夜间灯光数据提取结果与标准数据对比

将这些错误的和漏提的图斑与标准数据进行对比分析发现,造成信息提取有误的原因如下。

第一种:采用高斯滤波法对夜间灯光影像栅格数据进行信息提取,首先获取可能存在油气井平台位置靶区,即大致区域范围;然后将靶区部分栅格转换成面矢量文件,最后由矢量面转点,得出油气井平台数据。对比 Landsat-8 OLI 影像发现,有两个油气井平台距离很近,分别位于两个连续的像元

上,即同时位于提取的面文件上,进行面转点转换时,只能转成一个点文件,即将相邻的油气井平台提取成了一个平台,造成漏提情况。

第二种:个别油气井平台的灯光很亮,由于产生的光晕,使其周围的 DN 值也提高。在提取 DN 值时,当 DN 值达到定义的阈值时,就会错误地将光晕区定为油气井平台,从而多提取了一个错误的图斑。

2.3.2 SAR 数据与标准数据精度对比分析

同理,将两组数据进行对比分析,发现基于 SAR 影像提取的 66 个油气井平台中,提取正确的有 58 个,错误的有 5 个,无法确定的有 3 个,有 3 个为漏提的油气井,如图 7 所示。

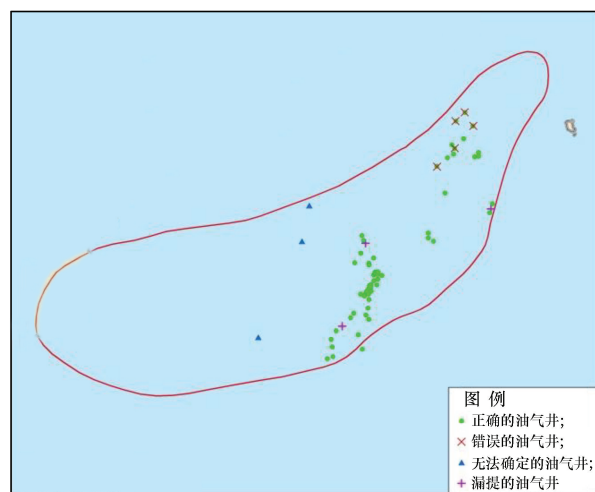


图 7 SAR 影像数据提取结果与标准数据对比

通过对比分析发现,造成信息提取有误的原因如下。

第一种:与夜间灯光数据出现漏提的情况相似,两个相邻的油气井平台,在 SAR 影像上,可能会呈现为一个亮图斑,因此只提取了一个油气井平台。而在多光谱影像上,可看到两个小的平台,造成漏提情况。

第二种:如某个油气井的开采类型为钻井船,该钻井船受风浪影响较大,稳定性差,具有浮动性。在海浪及风的作用下,可能会发生偏移。导致其可能在第一期影像上可以检测出它在某个位置出现,当发生位移的时候,其在第二期影像上的同一个位置就检测不出,即同一个目标物在两景不同时期的影像上没有出现重叠,因此出现漏提的情况。

第三种:油气井平台和舰船在 SAR 影像上均呈现为一个亮斑,当舰船停止运动时,在影像上不会出现尾迹,造成错误提取为油气井平台的情况。

3 结果分析

本研究基于多源卫星数据对涪盆地油气井平台的提取方法进行探索。其中,夜间灯光数据主要采用高斯滤波法;SAR 数据采用双参数 CFAR 算法;光学影像数据采用人工目视解译,同时用有确定性资料数据进行核对。最终以人工目视解译结果作为标准值,用来验证前两者提取的精度。

通过多源卫星数据探索油气井平台多种提取方法,精度上存在一定的差异,主要从以下几个方面进行对比。

3.1 提取方法

夜间灯光数据和 SAR 影像的提取方法存在着很大的差异性。夜间灯光数据是采用高斯滤波法,处理过程相对简单,不需要再进行几何校正、去噪声等处理,只需要在提取过程中进行栅格数据到矢量数据的转换^[17],提取时间短。SAR 影像相对复杂,采用双参数 CFAR 算法,需要进行校正、滤波降噪、滑动窗口扫描、阈值分析等处理,提取复杂、时间长。光学影像数据采用的传统的目视解译法,费时费力,但是油气井平台在影像上纹理特征清晰,直观明了,准确率最高。

3.2 提取精度

光学卫星数据波谱信息丰富,可通过图形特征直观地获取目标物,更真实、可靠,几乎不会出现错提、漏提等现象,精度最高,因此以目视解译获取的结果数据可作为验证的标准值。利用标准值分别验证夜间灯光数据及 SAR 影像数据的提取结果,从表 2 提取结果分析可知,基于 SAR 影像提取结果的精度高于夜间灯光数据的结果。

3.3 影像获取与成本控制

夜间灯光数据存档数据较多,时间跨度大,可以免费获取,适合做长期动态变化监测^[20]。SAR 影像具有不受光照和气候条件等限制实现全天时、全天候、大幅度、周期短对地观测的特点,但其存档数据时间跨度较短,获取较为困难,且价格昂贵,不利于做长期动态变化监测。光学影像数据类型较

多,更全面。尤其是 Landsat 系列卫星数据,其传感器类型多(TM、ETM+、OLI),发射时间早,重返周期短,存档数据时间跨度较大,能够满足目标物的长期动态监测。但是,分辨率低,且含云量较高,尤其南海区域受海洋多云雨天气的影响,可用于监测的无云区域范围较少。而海上油气井平台相对海洋而言,目标物很小,对人工解译造成很大的难度,因此需要获取大量的影像数据作为替补数据。Landsat 系列影像数据可通过官网免费获取。YG24 号卫星数据时间跨度小,可获取的影像数据较少,覆盖范围小,费用高,不利于做长期动态监测。

4 结论

本研究以湄公盆地作为研究区,综合多源、多分辨率、长时间序列影像数据,根据影像数据的特性,探索不同类型影像数据提取海上油气井平台的方法。

综上,在实际应用中,可基于不同数据源本身的特点,对比各种数据源在提取过程及结果的差异性,相互结合取其优点,优化流程同时提高油气井平台提取的效率和精度。因此,本研究提出如下建议:①夜间灯光数据易于获取,时间跨度较长,处理简单。可用夜间灯光数据进行粗解译,基本确定油气井平台可能分布的位置区域。并以此结果数据作为引导,可针对性地收集某个区域相关的影像数据,减少工作量。②在灯光数据提取结果的引导下,针对性地收集多期 SAR 影像,根据油气井平台位置不变特征,提取油气井平台,提高解译精度。③油气井平台在光学影像上图形特征直观明了,光学影像不仅可以精准地获取平台数据,还能识别出平台的类型及规模。因此可收集长时间序列光学影像数据,精准地提取油气井平台数量、位置及开采类型等信息。同时还可以进行长期动态变化监测,可直观地反映海上油气井平台的建设情况和扩展过程,具有很大的参考价值。所以,也需要进一步探讨如何更高效地进行光学影像数据的解译,提高工作效率,为了解南海油气资源提供更加翔实可靠的数据。

参考文献

[1] 王加胜,刘永学,李满春,等.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[J].地理研究,2013,32(11):2143—2152.

[2] 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[J].地理研究,2003,22(3):297—304.

[3] 贾后磊,张翠萍.海洋生态调查在海域使用论证中的作用探究[J].海洋开发与管理,2020,37(6):4.

[4] 李强.基于多源数据的南海油气平台检测及油气资源安全态势评价[D].兰州:兰州交通大学,2016.

[5] 刘玲,陆建辉,李玉辉.海洋石油平台健康监测研究方法进展[J].石油工程建设,2005(1):2—7.

[6] CASADIO S. Use of ATSR and SAR measurements for the monitoring and characterisation of night-time gas flaring from off-shore platforms: The North Sea test case[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, (123): 175—186.

[7] 万玲,姚伯初,曾维军,等.南海岩石圈结构与油气资源分布[J].中国地质,2006,33(4):874—884.

[8] 成王玉.南海油气钻井平台遥感提取研究[D].南京:南京大学,2015.

[9] 周翼,陈英,刘洋,等.NPP-VIIRS 年度夜间灯光数据的合成方法与验证[J].遥感信息,2019,34(2):62—68.

[10] YANG J, GAO W. New method for ship detection[C] // 2012 IEEE International. Geoscience and Remote Sensing-Symposium (IGARSS).IEEE, 2012:115—118.

[11] 唐沐恩,林挺强,文贡坚.遥感图像中舰船检测方法综述[J].计算机应用研究,2011,28(1):29—36.

[12] WACKERMAN C C, FRIEDMAN K S, PICHEL W G, et al. Automatic detection of ships in RADARSAT-1 SAR imagery[J].Canadian Journal of Remote Sensing, 2001, 27(4): 371—378.

[13] 李晓敏,张杰,孟俊敏,等.高分辨率 SAR 影像在海岛监视监测中的应用[J].海洋开发与管理,2018,35(2).

[14] 傅斌,范开国,陈鹏,等.合成孔径雷达浅海水深遥感探测技术与应用[M].北京:海洋出版社,2015:1—2.

[15] 徐青,范开国,顾艳镇,等.星载合成孔径雷达海洋遥感导论(上册)[M].北京:海洋出版社,2019:1—2.

[16] 王冬红,王番,周华,等. SAR 影像的几何精纠正[J].遥感学报,2006(1):66—70.

[17] 种劲松,朱敏慧.SAR 图像舰船目标检测算法的对比研究[J].信号处理,2003,19(6):580—581.

[18] 万剑华,姚盼盼,孟俊敏,等.基于 SAR 影像的海上石油平台识别方法研究[J].测绘通报,2014(1):56—59.

[19] 赵赛帅,孙超,王海江,等.基于 Landsat 遥感影像的海上油气平台提取与监测[J].热带地理,2017,37(1):112—119.

[20] 张露. SAR 海上静止目标检测[J].遥感技术与应用,2007,22(3):321—325.