海洋溢油遥感探测技术现状及预见

孙乐成,周青,王娟

(国家海洋局北海环境监测中心 青岛 266000)

摘要:海洋溢油作为当今海洋污染最严重的问题之一,早已引起我国政府及各相关职能部门的高度重视。多年来,国内外都在积极探索研究溢油污染精细探测方法,遥感溢油探测技术是其中的研究热点之一。文章从海面油、沉潜油两种溢油类型总结了国内外遥感溢油探测技术的现状及面临的主要问题。海面油的技术发展较全面,但仍受多项技术困难制约;沉潜油的探测已列入重点计划,但离业务化应用仍有较大差距;并就未来在海洋溢油遥感探测技术方面的发展趋势作出了展望。

关键词:海洋生态文明建设;溢油;遥感;现状;预见

中图分类号:P76

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2019)03-0049-05

The Present Situation and Forecast of Marine Oil Spill Detection Technology by Using Remote Sensing

SUN Lecheng, ZHOU Qing, WANG Juan

(North China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266000, China)

Abstract: As one of the most serious problems of marine pollution, marine oil spill has attracted great attention of the government and relevant departments. The fine detection methods of oil spill have been explored over years by domestic and foreign agencies. Remote sensing detection technology is one of the research hotspots. This paper summarized the present situation of oil spill detection by remote sensing from two types of oil spill: surface oil and submerged oil. The main problems of current technologies were described also, surface oil spill detection technology had been explored integrally, but it was still restricted by many technical difficulties. Submerged oil detection had been included in the National Key Research and Development Program, but there was still a marked gap between the commercial application and the current status. The prospect of developing trend on oil spill detection by using remote sensing was also made in this paper.

Key words: Construction of marine ecological civilization, Oil spill, Remote sensing, Present situation, Forecast

1 背景

党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央

高度重视生态文明建设,提出了一系列关于生态文明建设的理念新思想新战略,党的十九大更是

收稿日期:2018-09-14;修订日期:2019-02-22

基金项目:国家重点研发计划项目——海上交通溢油监测预警与防控技术研究及应用(2016YFC1402300)。

作者简介:孙乐成,工程师,硕士,研究方向为海洋遥感与信息化

明确要求加大生态系统保护力度。

海洋生态文明建设作为国家生态文明建设的重要组成部分,根本目标是建设美丽海洋。而我国所辖海域每年都面临各种类型的海洋污染的威胁,海洋溢油作为当今全球海洋污染最严重的问题之一,早已引起我国政府及各相关职能机构的高度重视。

海洋溢油往往会造成大面积海面石油污染,不仅使海洋立体生态系统遭受重大损害,同时也会带来巨大的经济损失,甚至严重危害人体健康。2011年6月,山东蓬莱19-3油田溢油事故,造成蓬莱19-3油田周边及其西北部面积约6 200 km²海域的海水污染,海洋生态损害价值总计16.83亿元^[1]。

多年来,国内外都在积极探索研究溢油污染精细探测方法,为溢油风险巡视、溢油污染监视/监测/预警及应急处置、溢油生态损害评估及修复提供技术支持。遥感溢油探测技术是其中的研究热点之一。

2 国内外研究现状

海洋溢油根据其分布不同,大致可分海面油、沉潜油两种类型。

2.1 海面油遥感探测技术

目前,可用于海面溢油遥感探测的技术发展比较完善,主要以航空遥感平台、卫星遥感平台、船载/海基/岸基遥感平台搭载不同类型的传感器实现海面油膜的多元探测。

2.1.1 遥感平台

航空遥感:航空遥感由于具有反应快、灵活机动、高分辨率、高时效、影像实时传输等优势,是目前溢油事故监测工作中使用最多且最有效的技术手段^[2]。

卫星遥感:与航空遥感相比,卫星遥感具有监测范围大、成本低、不受危险区域影响、图形资料易于处理和解译的特点,是现阶段广泛应用的溢油遥感探测手段^[3]。

船载/海基/岸基遥感:通过岸基/海基遥感平台搭载视频、雷达等传感器,可针对溢油高风险区实现有效的定点在线监测,是航空遥感、卫星遥感溢油探测的重要技术补充。

2.1.2 遥感传感器

目前,可用于海面溢油探测的传感器包括微波

传感器、光学传感器、激光传感器和激光一声学传感器等。

微波传感器有雷达传感器和微波辐射计。
①雷达传感器是一种目前使用广泛的海洋溢油探测传感器^[4]。利用星载或机载合成孔径雷达(SAR)进行海洋溢油探测是目前国际上较为常用的监测手段。机载SAR的使用更加普及,目前拥有机载SAR溢油观测能力的国家有中国、美国、德国、英国、法国、俄罗斯、加拿大、瑞典、荷兰、丹麦、澳大利亚、南非等^[8]。以X波段雷达、视频监控为主的船载/海基/岸基雷达溢油在线监控系统在国内外交通海事、环境保护和油气勘探等行业的溢油监视监测中已得到广泛应用。
②微波辐射计是一种具有应用潜力的全天候溢油探测器,但目前国际上对该领域的研究相当薄弱。瑞士空间局已经研制了包括双波段(22.4 GHz和31 GHz)以及单波段(37 GHz)的辐射计传感器,但Mussetto等^[9]的研究表明,信号与海面油层厚度呈弱相关,除油层厚度外,其他因素也可以影响信号的强度。目前人们正在研究在两个正交极化方向上测量极化对比强度,以测量油层厚度的新方法。

光学传感器包括:可见光传感器、红外传感器、紫外线传感器、高光谱成像光谱仪。
①可见光传感器。目前,利用可见光传感器开展海面溢油探测主要借助高空间分辨率的可见光影像进行溢油区域的识别。国际上知名度较高的QuickBird、IKONOS、WorldView、GeoEye、SPOT系列、GF系列卫星等都搭载有高分辨率的可见光传感器,航空遥感平台也都搭有高清光学相机,这些都可用于海面溢油的探测。
②红外传感器。由于厚油层能够吸收太阳辐射,并将部分吸收辐射以热能的形式重新释放出去,红外图像中,厚油层“热”,中等厚度“冷”,薄油层或油膜难以探测。由于这个局限,使得红外传感器用于海面溢油探测难以得到有效使用^[10]。
③紫外传感器可以对甚薄油层进行探测,因为即使是甚薄油层也会有很高的紫外辐射反射。通过紫外与红外图像的叠加分析,可以得到比单一波段探测更好的效果。
④高光谱成像光谱仪(HRS)能够获得连续波段信息,它以其“图、谱”合一的优势在溢

油探测中潜力巨大,应用前景广阔^[11-12],而且高光谱遥感从机理角度能够识别油膜组分^[13]。混合光谱分解技术^[13]、纯净像元指数(PPI)、光谱角度制图法(SAM)、混合调制匹配滤波(MTMF)^[14]等方法已应用于海面溢油信息提取。

激光诱导荧光探测器(LIF)是一种新兴的机载传感器,用于海上溢油探测具有诸多优势,但尚不能星载。激光诱导荧光探测是目前唯一能区分海藻和油污、监测岸滩溢油、监测海冰和雪中石油污染的遥感手段^[15]。美国国土安全部海岸护卫队目前正在支持开发航空激光诱导荧光探测仪,该仪器的最新型号已由欧共体(EC)研制完成。中国海洋大学的赵朝方等针对激光诱导荧光海洋溢油探测软硬件系统研制方面开展了研究^[16];大连海事大学的安居白、李颖团队对溢油种类识别、机载激光诱导荧光海上溢油信息提取与反演开展了研究^[17-18]。

激光—声学传感器。激光—声学技术是一种很有发展前景的技术。目前正在研发的激光—声学仪器是唯一可以探测油膜绝对厚度的遥感探测器,是一种十分可靠并具有发展前景的技术。该技术目前正由加拿大皇家石油公司、加拿大环境署和美国矿产管理局等单位联合开发。实验室测试结果证明该方法是完全可行的,目前正在进行业务化可行性试验。

2.2 沉潜油遥感探测技术

目前国际上对沉潜油的探测技术主要包括声学探测、光学探测、物理吸附和原位监测。USCG通过试验择优选取了荧光偏振和多波束声呐进行设备开发应用。M/T Athos 1事故成功采用了物理吸附方法进行沉潜油探测和跟踪;墨西哥湾溢油事故中利用装有声学多普勒海流剖面仪和声呐的水下机器人对海底溢油进行探测;DBL-152事故采用侧扫声呐、ROV、水下摄像机或/和潜水员、V-SORS、捕捉器等多种技术联合探测水体和海底的溢油。

我国沉潜油的研究起步较晚,国家海洋局北海环境监测中心在大连7·16溢油事故和蓬莱19-3溢油事故中,采用原位监测和ROV等多种手段,验证了溢油在水体中的沉潜行为和垂直分布规律,采用剖面成像(SPI)、侧扫声呐、多波束声呐、原位采样等技术对溢油现场的沉底油进行了探测,发现了

底层海水含油量远高于表层的现象。2016年,在国家重点研发计划项目海洋环境安全保障专项中,支持了海洋交通已有监测预警与防控技术研究及应用项目,沉潜油的探测技术研究及应用是其中一个重要研究方向。

3 目前面临的主要问题

3.1 海面油的技术发展较全面,但仍受多项技术困难制约

目前用于海面油膜探测的技术发展较快,主要以航空遥感、卫星遥感、船载/岸基/海基雷达等手段探测油膜,但仍受多项技术困难的制约。

3.1.1 遥感平台

航空遥感主要借助有人机实现,费用高,且由于人员的介入导致风险性大大提高,难以抵近溢油高风险区域进行有效探测,加上续航能力及夜航能力的限制,使得航空遥感探测溢油只能在有限的场景下开展。

卫星遥感最大的受限因素是时间分辨率、空间分辨率的两极矛盾。要么卫星重访能力差,难以开展连续性观测;可开展连续观测的卫星往往空间分辨率不足。这种矛盾制约了卫星遥感平台的溢油遥感探测技术的进展。

船载/岸基/海基雷达可实时在线探测溢油,但观测范围有限,海洋溢油的突发性和不确定性导致采用此类技术的使用只能针对预先评估的高风险区进行,难以形成连续大面积覆盖的溢油遥感探测能力。

3.1.2 遥感传感器

可见光传感器由于溢油物质与背景之间的对比度不大,导致探测能力有限,目前只有高空间分辨率的可见光传感器可以对海面溢油开展有效探测,但受限于搭载的平台,只能在有限场景下开展。

红外传感器由于中等厚度油的“冷”特性,在大多数情况下无法对乳化溢油进行探测。

紫外传感器易由外界环境因素(太阳耀斑、海表亮斑、生物物质)的干扰而产生虚假信息。

高光谱传感器的空间分辨率不足,难以满足精细化溢油遥感探测的要求。

激光诱导荧光探测器和激光—声学探测器是目前唯一能够区别溢油污染和水生植物及海岸,并

可辨别出溢油种类和油层厚度的传感器,但都尚处于研制或研发阶段,难以投入实际应用。

3.1.3 其他

目前已经推广使用的多项溢油遥感探测技术只能提供溢油面积及分布,都难以准确测定油膜厚度,导致溢油量的准确估算难以实现^[19-25]。

3.2 沉潜油的探测已列入重点计划,但离业务化应用仍有较大差距

2016年,在国家重点研发计划项目海洋环境安全保障专项中,支持的海洋交通已有监测预警与防控技术研究及应用项目将对沉潜油的探测技术做重点研究并开展应用示范,将分别建立沉潜油多波束、成像声呐等声学探测技术和多通道全波形激光雷达探测技术,形成一套沉潜油的探测技术和装备体系,但离业务化应用仍有较大差距。

4 未来主要技术预见

4.1 海面油遥感探测技术

4.1.1 遥感平台

无人机海洋溢油遥感探测技术将得到大力推广使用。中空长航时无人机搭配中近程无人机和超近程旋翼无人机的联合观测,在搭载了高清的光电平台、机载 SAR 等传感器后,具有起飞灵活、探测范围广、夜视及续航能力强、可抵近或飞入溢油高风险区、运行费用低等特点,可有效克服现有有人机航空平台和卫星平台的不足,将在海洋溢油遥感探测中发挥巨大作用。

我国海洋卫星与卫星海洋发展规划支持的新一代海洋卫星将会使我国海洋溢油遥感探测具备系列化、业务化和量化的海洋卫星观测体系,新一代海洋卫星系列搭载的中分辨率光谱仪、微波辐射计、C波段合成孔径雷达(SAR)等,它们的投入,加上已经在轨运行的 GF1号、GF2号高分辨率光学卫星和 GF3号 1 m 分辨率 SAR 卫星,将极大提高我国海洋溢油遥感探测能力,助力我国海洋溢油遥感业务化应用进入一个质的飞跃。

船载/岸基/海基 X 波段雷达在线监测平台将实现我国管辖海域溢油高风险区的大面积覆盖,极大提升我国海洋溢油在线监测能力。

4.1.2 遥感传感器

基于 SAR 的溢油遥感探测技术将继续占据主

导地位,高分辨率光学遥感、高光谱遥感与红外遥感在海洋溢油探测中也将发挥重要作用。

根据目前的研究进度,到 2030 年,海洋溢油激光类传感器有望实现从样机到少量产品机的生产,激光诱导荧光探测器和激光声学传感器作为目前唯一能够区别溢油污染和水生植物及海岸,并可辨别出溢油种类和油层厚度的传感器,它的投入使用,将会使溢油遥感定量观测成为可能。

4.1.3 技术方法

不同遥感平台、传感器均有各自的优劣,多源遥感平台及传感器监测数据的实时/准实时接收及融合^[26],并与地理信息技术、定量反演技术相结合,建立数据综合处理与分析预测的应急响应集成系统将是大势所趋,我国自主海洋卫星的发射升空及无人机等新监测平台的投入使用,将使此类集成系统演变为业务化应用系统,供涉海部门使用。

4.2 沉潜油遥感探测技术

在国家重点研发计划项目的支持下,沉潜油多波束、成像声呐等声学探测技术和多通道全波形激光雷达探测技术将会获得突破,我国初步的沉潜油遥感探测能力将会形成,并将在我国北海海区率先投入业务化示范应用。

5 结论

海洋溢油全方位观测技术包括挥发油探测、海面油膜探测、沉潜油探测。目前用于海面油膜探测的技术发展较快,主要以航空遥感、卫星遥感和地基雷达等手段探测油膜,但是各种技术都存在缺陷,难以有效排除干扰,难以准确测定油膜厚度;海底溢油及沉潜油混合了杂质后,由于密度与海水较为接近,常悬浮于海面以下的水体中,或黏附在海底物质表面,目前缺乏有效的水下溢油探测手段。水体中油含量的测定灵敏度较低,精度不够。国内外正在研究的激光诱导荧光探测器、高光谱成像仪、激光声学探测器等技术的发展有望解决海面油膜探测、海底油污探测及水中油含量测定的技术问题。

预计 2030 年,我国全自主海洋溢油遥感立体观测体系将全面形成,可实现对海洋溢油的全方位探测,多源传感器数据实时接收、处理和自动化分析的综合信息系统将投入业务化使用,为及时有效地

应对海洋溢油污染提供技术支持。

参考文献

- [1] 国家海洋局.蓬莱 19-3 油田溢油事故联合调查组关于事故调查处理报告[EB/OL].(2012-06-21)[2018-09-14].
Http://www.soa.gov.cn/xw/hyyw_90/201211/t20121109_884.html.
- [2] CASCIELLO D, LACAVA T, PERGOLA N, et al. Robust Satellite Techniques for oil spill detection and monitoring Using AVHRR thermal infrared bands[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(14): 4107-4129.
- [3] ZHANG B, PERRIE W, LI X, et al. Mapping sea surface oil slicks using RADARSAT-2 quad-polarization SAR image[J]. Geophysical Research Letters, 2011, 38(10): 60-62.
- [4] 苏伟光, 苏奋振, 周成虎, 等. 海面溢油光学卫星遥感监测能力分析[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(4): 521-530.
- [5] MANSOR S B, ASSILZADEH H, IBRAHIM H M, et al. Oil Spill Detection and Monitoring from Satellite Image [EB/OL]. [2018-09-14]. <http://www.gisdevelopment.net/application/miscellaneous>.
- [6] PELLEMANS A H J M, BOS W G, KONINGS H, et al. Oil Spill Detection on the North Sea Using ERS-1 SAR Data [EB/OL]. [2018-09-14]. <http://www.neonet.nl/browse>.
- [7] PAVLAKIS P, SIEBER A, ALEXANDRY S. Monitoring Oil-Spill Pollution in the Mediterranean with ERS SAR [EB/OL]. [2018-09-14]. <http://esapub.esrin.esa.it/eoq>.
- [8] 喻腊梅. 从美国研制的机载 SAR 雷达看 SAR 雷达技术的发展[C]// 第六届全国信号与信息处理联合学术会议. 大连: 中国航空学会, 等, 2007: 274-277.
- [9] MUSSETTO M S, YUJIRI L, DIXON D P, et al. Passive Millimeter Wave Radiometric Sensing of Oil Spills[C]// in Proceeding of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solutions and applications, ERIM Conferences, Ann Arbor, Michigan, 1994: 35-46.
- [10] BOLUS R L. A Airborne Testing of a Suite of Remote Sensors for Oil Spill Detecting on Water[C]// in Proceedings of the Second Thematic International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1996: 743-752.
- [11] WETTLE M, DANIEL P J, LOGAN G A, et al. Assessing the effect of hydrocarbon oil type and thickness on a remote sensing signal: A sensitivity study based on the optical properties of two different oil types and the HYMAP and Quickbird sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(9): 2000-2010.
- [12] 刘丙新. 基于高光谱特征的水上油膜提取与分析研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [13] PLAZA J, PEREZ R, PLAZA A, et al. Mapping oil spills on sea water using spectral mixture analysis of hyperspectral image data[C]// Chemical and Biological Standoff Detection III. International Society for Optics and Photonics, 2005: 5995 08-599509.
- [14] SANCHEZ G, ROPER W E, GOMEZ R B. Detection and monitoring of oil spills using hyperspectral imagery[J]. Proc Spie, 2003, 5097(3): 1-8.
- [15] 李四海. 海上溢油遥感探测技术及其应用进展[J]. 遥感信息, 2004(2): 53-57.
- [16] 赵朝方, 李晓龙, 马佑军. 多通道海洋荧光激光雷达溢油监测系统[J]. 红外与激光工程, 2011(7): 1263-1269.
- [17] 陈海菊, 安居白, 刘建鑫. 基于 SVM 的激光诱导荧光遥感识别海面溢油[J]. 应用能源技术, 2008(2): 6-9.
- [18] 陈澎. 机载激光荧光海上溢油信息提取与反演研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
- [19] JING Y, AN J, LIU Z. A novel edge detection algorithm based on global minimization active contour model for oil slick infrared aerial image[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2011, 49(6): 2005-2013.
- [20] GANTA R R, ZAHEERUDDIN S, BADDIRI N, et al. Segmentation of oil spill images with illumination-reflectance based adaptive level set model[J]. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 2012, 5(5): 1394-1402.
- [21] 钱平, 孙国琴, 张存洲. 基于近红外光谱技术的石油组分定量分析新方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 28(12): 2851-2854.
- [22] 谈爱玲, 毕卫红. 基于近红外光谱法的多组分复杂溢油源定量建模分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(12): 3202-3207.
- [23] WANG G, DING Q, HOU Z. Independent component analysis and its applications in signal processing for analytical chemistry[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2008, 27(4): 368-376.
- [24] 方利民, 林敏. 柴油近红外光谱的独立分量分析方法[J]. 石油学报(石油加工), 2009, 24(6): 726-732.
- [25] PASADAKIS N, KARDAMAKIS A A. Identifying constituents in commercial gasoline using Fourier transform-infrared spectroscopy and independent component analysis[J]. Anal Chim Acta, 2006, 578(2): 250-255.
- [26] 韩仲志, 刘康炜, 万剑华. 海洋溢油的多传感器遥感探测技术研究进展[J]. 安全、健康和环境, 2015, 15(10): 4-7, 30.