

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00234

渔场渔情分析预报业务化应用中的关键技术探讨

樊伟^{1,2}, 崔雪森¹, 伍玉梅¹, 周为峰¹, 陈雪忠¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;
2. 中国水产科学研究院 渔业资源遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090

摘要: 利用空间信息技术开展渔场渔情分析及预报对渔船捕捞作业及渔业管理等具有重要意义。本文在开展有关研究和所开发的大洋渔场渔情信息服务系统业务化应用的基础上, 对渔场渔情分析预报业务化应用中涉及到的渔场环境数据精度、渔场环境数据融合、实时渔场信息获取、渔场分析方法及渔场预报模型等关键技术问题进行了较全面的探讨分析与总结, 并对将来的应用或技术发展进行了展望, 以期为今后的相关技术开发提供借鉴。

关键词: 渔场; 渔情预报; 卫星遥感; 预报模型

中图分类号: S94

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)01-0234-08

早在 20 世纪初期, 人们就依据捕捞经验尝试进行海洋渔场渔情分析及预测^[1], 20 世纪 60 年代后随着卫星遥感技术的出现, 渔场渔情分析预报逐渐由实验研究走向实用化^[2-5]。尤其是 20 世纪 90 年代开始, 随着卫星遥感和信息技术的飞速发展, 遥感数据源的获取更为便捷, 日、美、法等渔业发达国家的渔场渔情分析预报工作逐渐进入业务化应用阶段, 代表着国际最高技术水平与发展方向。其主要特点是提供的渔场渔情要素信息多元化, 业务化系统应用的自动化, 信息服务的渔业种类和区域多样化等。中国许多学者也开展了诸多相关的研究探索^[6-7], 东海水产研究所自 1987 年开始, 便利用无线传真海温数据结合海上实测数据, 每周制作发布 1 次手工绘制的东黄海海渔况速报图, 实现了业务化应用, 且在国家 863 计划项目的支持下, 于 2000 年实现了利用卫星遥感数据为主的中心渔场预报^[8]。此后, 随着中国远洋渔业的发展壮大, 中国渔场渔情预报的工作重点由近海区向远洋渔场转变。为此国家 863 计划海

洋监测技术主题先后立项开展了应用卫星遥感、地理信息系统(GIS)、空间数据分析及人工智能(AI)等信息技术进行渔场渔情分析预报的多个项目研究。笔者在开展上述研究工作的基础上, 负责研发了中国北太平洋鱿鱼和大洋金枪鱼渔场渔情信息服务系统, 渔场预报精度达到 60%~70%^[9-10], 自 2002 年开始进行西北太平洋鱿鱼渔场试验预报, 2005 年又开始了大洋金枪鱼渔场试验预报, 并逐步转入业务化应用。目前系统每周定期发布 1~2 次中国西北太平洋鱿鱼、中西太平洋金枪鱼围网等 7 个远洋渔场海域的渔场海况速报图或渔场预报图, 同时, 也根据个别企业的实际需求, 进行渔场预报图的精细化定制服务, 以提高渔场渔情信息服务的应用成效。虽然中国渔场渔情分析预报及其应用取得了显著的经济与社会效益, 业务化应用技术也接近国际先进水平, 但由于中国远洋作业渔船遍布全球三大洋, 远洋渔场作业范围宽广, 渔场作业范围变动大, 渔场渔情预报的业务化应用仍受到一些实际问题的困

收稿日期: 2012-05-04; 修订日期: 2012-11-19.

基金项目: 国家 863 计划项目(2007AA092202).

作者简介: 樊伟(1971-), 男, 研究员, 主要从事渔业遥感应用技术研究. E-mail: fanwee@126.com

通信作者: 陈雪忠, 研究员. E-mail: xuezhong@eastfishery.ac.cn

扰, 如可靠稳定遥感数据的获取、渔场预报精度的验证等。为此本文在概括渔场渔情预报系统业务化应用工作的基础上, 详细探讨分析了系统业务化应用中的主要关键技术问题, 以期为今后相关技术开发和渔业应用提供借鉴。

1 渔场渔情预报系统业务化应用概况

渔场渔情分析预报工作通常指定期或不定期为渔船船长及渔业公司指挥人员提供渔场预报信息产品。因此, 从渔场渔情预报系统业务化应用和信息产品的制作流程来看, 渔场渔情分析预报系统业务化应用可以分为几个环节(图 1): 一是渔场数据获取与更新, 不仅包括各类卫星遥感渔场环境数据, 也包括渔业捕捞产量数据的获取及更新。二是在获取最新的数据后, 需要进行渔场环境及渔情分析, 主要指对渔场环境信息进行各种关联计算、可视化分析及特征参数提取等。三是选用所构建的合适的渔场预报模型, 开展渔场预报。四是将预报结果制作生成渔场渔情信息产品, 并及时发布提供给用户。其中每个环节的工作重点及应用到的关键技术均有所不同, 总的来说, 目前制约渔场渔情预报系统业务化应用的关键技

术问题主要有: (1) 海洋遥感渔场环境要素的反演与提取精度; (2) 渔场环境数据融合技术; (3) 渔场捕捞作业实时信息的获取; (4) 渔场要素分析的技术方法; (5) 渔场预报模型的构建等。其中前 2 个是进行遥感渔场渔情预报的工作基础与前提, 渔场捕捞作业实时信息的获取将会使渔情分析预报更准确。渔场要素分析的技术方法则是为渔场预报提供模型构建依据和模型参数。渔场预报模型的构建则是开发和实现渔场渔情预报系统业务化应用的关键。

2 海洋遥感渔场环境要素的反演精度

某个海域是否能够形成渔场, 海洋环境状况具有关键性的作用。因此, 渔场海洋环境信息是用来进行渔场分析判断和预测的基础性数据, 所获取的渔场环境要素信息越多, 时效性越好, 渔场分析预报准确性就越高。当前渔场渔情分析预报所需要的海洋环境要素信息主要依靠卫星海洋遥感监测获取, 但受遥感技术条件限制, 不同的遥感技术方式、不同的海洋环境要素的时空精度和数据反演精度各不相同, 是否能满足渔场应用需求, 是开展渔场渔情分析预报工作首先需要

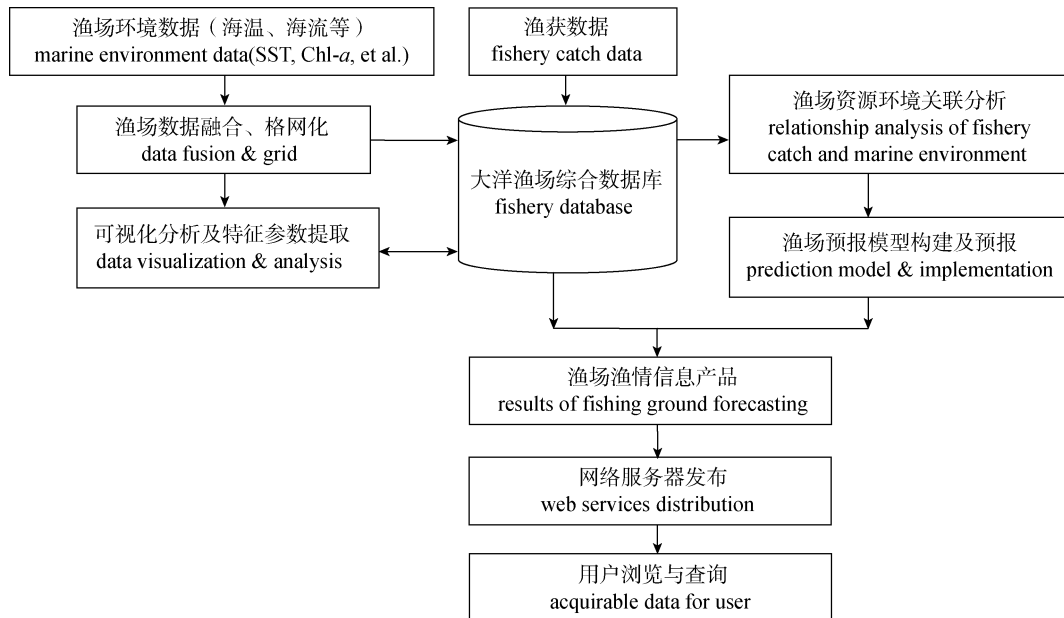


图 1 渔场渔情分析预报系统业务化运行框架

Fig. 1 The frame of operational system of fishing ground forecasting

仔细甄别的技术问题。当前渔场分析应用最成熟的主要有海表温度(SST)、水色、海流、海面高度等遥感反演信息。

遥感反演 SST 是最早从卫星上获取的海洋环境参数,也是海洋遥感中最成熟且应用最广泛的技术。卫星遥感获取 SST 的方法有两种:热红外波段测量和被动微波辐射测量。对于类似 NOAA、风云 1 号(FY-1)、海洋 1 号(HY-1)和 MODIS 的一类极轨卫星,星下点空间分辨率一般约为 1.0 km,同一颗星对同一地点每天可以获取 3~4 景数据。这类卫星均采用红外波段反演 SST,反演精度均方根误差(RMSE)约为 $\pm 0.5\sim 0.8$ [11-12],完全可以满足渔场应用需求。类似 GMS、MTSAT 和 GOES 的地球静止卫星,空间分辨率约 4~5 km,每 30 分钟或 1 小时即可获取 1 幅影像,地球静止卫星红外波段反演 SST 数据的 RMSE 约为 ± 0.8 [13-15],基本上能够满足渔场分析需要。红外波段的缺点主要是易受到云遮挡的影响而无法获取 SST 数据,造成数据缺失。类似 TRMM、SSM/I、TMI 和 AMSR 传感器的微波遥感卫星采用被动微波辐射测量 SST,具有穿透云层的优势,其反演 SST 的 RMSE 约为 $\pm 0.8\sim 1.0$ [16],但其空间分辨率约 50 km,限制了其渔业应用潜力。这些精度估算都是在晴空无云及较小海域范围等理想条件下得到的,由于远洋渔场海域范围广,要保证渔场各区域均达到相同的精度仍较困难,实际工作中,也常采用船测、海洋浮标、船舶报(GTS)等实测数据对遥感数据进行校正,以提高海表温度的精度。如在西北太平洋鱿鱼渔场预报中就采用了大量的实测海温和船舶报数据进行海表温度的检验[17-18]。

海洋水色卫星及传感器主要有 CZCS、SeaWIFS、MODIS、MERIS、HY-1 等,均属极轨卫星。渔场渔情分析预报使用的遥感反演海洋水色主要指反演的叶绿素(Chl-a)信息,其时空分辨率能满足当前渔业需求。遥感反演叶绿素 a 主要涉及辐射量定标、大气校正和生物光学算法 3 个主要过程,对一类水体,叶绿素反演的中值平均相对误差约为 35%~45% [19-20],能够满足渔业定性分析要求,而二类水体由于水色的组分要素复杂,

反演精度较低。因此遥感反演水色的精度仍有待在遥感理论和技术上取得新的突破。如何从遥感反演的 Chl-a 预测渔场渔情,大致有两种方法,一个是由水色所示踪的海流或海洋锋面信息,采用类似温度锋面判断渔场的方法进行渔场分析;另外就是由叶绿素 a 所反映的海洋初级生产力,依据食物链的原理,分析预测各层级鱼类的生物资源量及其时空分布,其前提是要掌握所研究海域的海洋食物链及其种群间的相互关系。而海洋食物链是一个复杂的生态系统,不仅需要详细的调查,同时也需要适当的数学模型来描述,也这正是利用叶绿素 a 定量分析预测渔场的难点所在。

海洋高度计卫星通过对海平面高度、有效波高、后向散射的测量,可同时获取流、浪、潮、海面风速等重要动力参数。海洋高度计卫星所获取的海面高度、海流等信息被应用到渔场分析中约起始于 20 世纪 90 年代 TOPEX/Poseidon 高度计卫星数据的渔业应用。TOPEX/Poseidon 卫星的测高精度达到 2~3 cm,但在低纬度海域的空间分辨率不够高(约 250~300 km 左右)[21],在特殊海区 and 近岸海域由于受地形和潮汐作用的影响,测高精度没有保证等会对渔业应用有一定的影响。高度计卫星的渔场分析主要有两方面,一是通过海面高度异常分析判断海洋的冷暖水团中心或涡旋中心,掌握渔场区冷水团或暖水团的时空配置状况;二是利用海面高度异常计算得到地转流的流速及流向,从而掌握渔场的海流强弱及锋面状况。此外,海流也可以通过遥感反演 SST 估算[22],但此类方式一般难以实现业务化应用。

海洋表面风场及海洋盐度通常也是渔场分析的必要信息。较成熟的能提供海面风场信息的卫星传感器主要有主动探测的散射计和高度计,被动探测的微波辐射计等。散射计通常具有 25~50 km 的空间分辨率,能给出的海面矢量风速精度为 ± 1.5 m/s,风向为 $\pm 20^\circ$ 。高度计能给出延轨方向的海面风速值,其精度为 ± 1.8 m/s。微波辐射计虽然空间分辨率较低(约 50 km),但它的刈幅很宽,能达到 1 000 km 以上,因而成为遥感方法获取大面积海面风速的主要途径,风速精度约为 ± 2

m/s^[23]。此外,随着 2009 年欧洲航天局(ESA)的土壤湿度和海洋盐度(SMOS)卫星的发射,人类第一次实现了在太空进行盐度的遥感探测,随后,美国专门用于盐度探测的宝瓶座科学应用卫星-D(Aquarius/SAC-D)也成功发射,将开启渔场应用遥感盐度数据的新时代。SMOS 卫星每隔 30 d 可以完成 1 幅 200 km 空间分辨率的全球海洋盐度的分布图。而宝瓶座卫星则精度更高,约 7 d 就能够提供 150 km 分辨率的全球海洋盐度的分布图,盐度探测精度达到 0.2 psu。

3 渔场环境数据融合

早期的学者利用卫星遥感监测渔场环境信息开展的渔场渔情速预报应用研究^[2-5],仅限于科学试验,没有实现业务化应用。如何根据所获取的海洋遥感环境信息,定期制作生成渔场海况信息产品就成为需要解决的技术问题之一。海洋遥感数据通常是由接收的单轨影像构成的一个数据文件,这样的数据文件由于覆盖范围有限,无法包括全部渔场区,且经纬度范围不是规则形状或固定区域,因此渔场海况信息产品通常需要由多轨影像融合生成。渔场遥感环境数据的融合不仅指多轨遥感数据融合后覆盖范围的扩大,而且包括对数据缺失海域进行数据替补、多源遥感与多时相遥感数据的融合以及遥感与实测数据的融合同化等。

如前文所述,红外遥感反演 SST 及海洋水色叶绿素 a 等信息会受到云遮挡的影响造成数据缺失,给业务化应用造成较大的影响。针对这一问题,渔场分析主要采用的方法是利用多时相数据对受云遮挡造成数据缺失的海域进行替补,或者利用来源不同传感器的多源数据进行融合。融合后的数据不仅数据覆盖范围增加,而且数据精度有所提高。渔场环境遥感数据融合主要包括两部分工作:空间几何配准和数据融合。空间几何配准相对容易实现,而渔场环境的数据融合要复杂的多,主要指多传感器数据的融合或卫星数据与实测数据的融合。当前应用的数据融合方法主要

有客观分析法、最小二乘法、小波变换法、卡尔曼滤波法等^[24-27]。实际业务中,海表温度数据融合应用较多的是优化插值法,而海洋水色的融合仍主要以多轨影像的几何配准与数据替补为主。尽管如此,但仍无法完全避免部分渔场环境数据的缺失。在以后应用中,多源遥感观测数据融合及实测数据的综合应用是提高渔场渔情应用系统业务化应用效率的有效途径。如结合红外的高空间分辨率和微波受云影响小的特性,实现对海洋的连续观测。在北太平洋鱿鱼渔场和金枪鱼渔场速预报系统的业务化应用中,主要采用了多轨道影像融合及替补的方式获取较完整的 SST 和叶绿素 a 海况信息产品。

4 渔场捕捞作业实时信息的获取

引起渔场发生洄游移动等时空变化的原因很多,基于卫星遥感技术的渔场渔情分析预测仅是从有利于渔场形成的环境动力条件来预报渔场。实时渔船捕捞作业信息的获取,不仅有助于掌握渔场动态变化,提高渔船管理水平,而且能够用来验证遥感渔场渔情预报的精度,改进渔场渔情预报技术,提高渔场预报的精度。传统的渔场捕捞作业信息获取通常由单边带等短波通信方式,依靠语音对话实现。而随着卫星通信及全球定位系统技术的成熟和普及,基于 GPS 技术的渔船监测系统(VMS)成为当前渔场捕捞作业信息获取的主要技术手段。渔船监测系统通常每 10~30 分钟便可获取 1 次渔船的经纬度位置、作业航向、航速等信息^[28-29],并据此可以估算实际投入的捕捞努力量、分析渔船作业行为等。此外,渔船监测系统也可把在渔船上安装的渔捞日志录入系统或专用的渔获录入设备记录的渔获数据,以及船位与渔获量信息一并发送至渔业管理部门或渔情信息服务中心。为了更好地掌握中国远洋渔场动态,笔者通过开发专用的渔场数据仪,利用海事卫星 C 站终端设备,构建了包括约 50 艘渔船的中国远洋渔船生产动态信息网络,实现了对中国远洋作业渔场及捕捞信息的实时获取及动态监控。

5 渔场要素分析的技术与方法

在进行渔场渔情预报之前,通常要先根据所掌握和收集到的各种数据进行分析,为渔场渔情预报提供模型参数或基础信息,因此渔场要素分析的结果对渔场渔情预报也具有关键作用。传统的方法是将收集到的数据手工绘制成图进行分析,目前主要采用计算机自动绘制成图或人机交互方式进行可视化多维分析。依据所获取的数据类别,一般可以分为环境数据分析和渔获数据分析。依据分析方法或应用目的不同,可以分为查询分析、可视化成图分析、特征抽取分析、数理统计分析等。查询分析主要对所关心的数据或渔场信息,利用 SQL 等结构化查询语言方法对所构建的数据库进行查询以获得所需要的信息,如最大渔获量、渔获产量分布情况、特定区域环境数据的检索查询等^[10]。可视化成图分析主要是对环境数据或渔获数据,利用 GIS 软件工具等可视化的方法直接显示出来,便于直观分析。如对海表温度、叶绿素进行等值线绘制,可以很容易观察到渔场特征温度线的走向、锋面位置、冷暖水团配置状况等^[30-31];对次表层的环境要素,自动生成水下不同深度的水温图或不同断面的水温图^[32-33];对渔获量绘制成饼图、扇形或柱状图等,可以直观看出各海域捕捞种类组成及产量高低。特征抽取分析,主要指对锋面、涡旋等渔场环境特征的抽取,如采用梯度计算得到温度锋面^[34-35];采用形态学的方法自动抽取涡旋形态特征等^[36-37];采用插值方法计算抽取渔场区的温跃层深度与混合层深度等^[38-39]。数理统计分析主要是对所获取的各类数据进行深加工后的分析或把渔场环境及渔获数据进行关联分析。如对温度数据进行统计处理后,可以计算得到能够反映渔场环境变化趋势的温度较差图、温度距平图等^[40];对渔获数据进行统计获取渔业资源的 CPUE、对渔场定量划分等;利用时间序列、广义线性模型等分析渔场变化与环境要素的关系等^[41-43]。

随着技术进步和理论发展,渔场要素分析方法将会更加多样化,其中渔场环境特征的高精度自动提取算法、渔场环境与渔获数据的关联分析

方法等最为关键,尤其是渔场环境与渔获数据的关系研究对渔场渔情分析的可靠性及准确性具有决定性的影响。

6 渔场预报模型的构建与方法

在获取渔场环境数据及进行初步的分析后,就需要选择合适的渔场预报模型进行渔场渔情预报。渔场渔情预报的主要任务是预测渔场、渔期和可能渔获量^[44],可见不仅包括了资源量的预报,也包括渔场移动时空范围的预报。渔场渔情预报模型与方法,国内外已有许多得到成功应用。早期主要采用实测调查数据,结合渔业生产进行定性分析预测或常规的统计分析。海洋遥感技术的发展使得渔场环境信息的获取能力极大提高,渔情预报技术也相应得到更进一步的发展。近年国内的研究主要随着中国远洋渔业的开发而进行。如崔雪森等^[9-10]利用范例推理构建的北太平洋鱿鱼渔场预报系统以及利用贝叶斯概率开发了金枪鱼渔场预报系统,高峰等^[45]利用栖息地指数进行西南大西洋阿根廷鱿鱼渔场的预报研究^[45]。国外也开展了诸多研究,如日本学者 Ichiro 等^[46]应用包含有鱼卵丰度、幼鱼渔获量和黑潮暖流路径等 28 个变量和由该 28 个变量之间的关系构成的 146 条规则的专家系统较早地用于鳁渔况的预报。法国学者 Laurent 等^[47]利用 SST 等遥感数据和法国印度洋金枪鱼围网船队数据,通过人工神经网络(ANN)方法模拟并实现了对印度洋金枪鱼渔场移动方向的预测。西班牙学者也通过集成各类遥感数据,建立了 BP 神经网络的预测方法,计算预测了大蓝鲨的渔场捕捞概率分布图^[48]。印度学者利用印度海洋水色卫星(OCM)获取的叶绿素、SST、水深以及历史捕捞数据等信息,分别通过层次分析(AHP)和影像叠加的方法预测了印度近海海域可能形成的渔场区^[49-50]。印度尼西亚学者利用专家知识系统和地理信息系统对印尼苏拉威西海域的渔场进行了预测^[51]。总体而言,渔场渔情分析预报仍缺少通用性的预报模型与技术,因此如何构建适合特定海域和种类的预报模型以及模型的精度检验便成为此项工作的技术难点。

7 总结

本文重点对渔场渔情分析预报业务化应用中的关键技术问题进行了初步探讨和分析, 随着海洋观测及空间信息技术的进步, 渔场渔情分析预报技术的发展和运用将会不断深入。在技术方法上, 对于渔场环境遥感信息, 将会随着中国自主海洋卫星的发射, 更多地依赖发展自主海洋卫星的数据反演与信息提取模型, 并广泛地应用到中国的渔场渔情分析预报业务化系统。对于次表层的渔场环境信息, 可以通过发展业务化的海洋模式数值预报和 ARGO 浮标监测来实现。对于渔船的实时动态监测, 可以逐步应用北斗导航卫星实现对海洋渔船的监测与渔获信息获取。对于渔场渔情分析预报, 不仅将更加依赖海洋遥感技术获取更多的渔场环境要素信息进行渔场预报, 而且将会通过对捕捞渔船的动态实时监控来掌握实际作业渔场信息并进而验证前者的预报结果, 从两方面共同促进渔场渔情预报准确性的进一步提高。对于渔场渔情预报模型, 可以应用海洋生态系统动力学的方法, 通过数值计算与模拟对鱼类种群和渔场变化进行动态研究, 不仅可以深入研究环境驱动的渔场形成机制, 也可为渔场预测提供更可靠的理论依据。

从产业需求与应用角度看, 海洋渔业发展至今, 在全球渔业中仍占主导地位, 但海洋渔业资源多数已处于过度开发或充分开发阶段^[52], 尤其近海海域基本上均遭到过度开发而表现出不同程度的资源衰退。因此, 1995 年 FAO 提出了《负责任渔业行为守则》, 要求采用不损害生态环境、资源的捕捞方式, 2001 年又提出要求建立以生态系统为基础的渔业管理。可以预见, 随着世界渔业资源状况的变化, 渔场渔情分析预报的应用重心不仅将会, 也必然会逐渐由以预报渔场指导渔船捕捞为主向以资源管理和养护为目标转变。实现这一重大转变的方法主要是为渔业资源养护与管理提供大量的决策基础信息, 如通过对鱼类产卵场的监测与分析预报来制定产卵场的保护措施, 通过对渔场环境的动态变化分析来更科学地设立

休渔期或休渔区等。

参考文献:

- [1] 宇田道隆. 海洋渔场学[M]. 东京: 恒星社厚生阁发行所, 1963: 20-22.
- [2] Stevenson W R, Pastula E J. Observations on remote sensing in fisheries [J]. Mar Fish Rev, 1971, 33(9): 9-21.
- [3] Lasker R, Pelaez J, Laurs R M. The use of satellite infrared imagery for describing ocean processes in relation to spawning of northern Anchovy[J]. Remote Sens Environ, 1981, 11: 439-453.
- [4] Laurs R M, Fielder P C, Montgomery D R. Albacore tuna catch distribution relative to environmental features observed from satellite [J]. Deep Sea Res, 1984, 31: 1085-1099.
- [5] Fiedler P C, Smith G B, Laurs R M. Fisheries applications of satellite data in the eastern North Pacific[J]. Mar Fish Rev, 1984, 46: 1-13.
- [6] 李雪渡. 海水温度与渔场之间的关系[J]. 海洋学报, 1982, 4(1): 103-112.
- [7] 刘树勋, 韩士鑫, 魏永康. 判别分析在渔情预报中应用的研究[J]. 海洋通报, 1988, 7(1): 63-70.
- [8] 沈新强, 樊伟, 韩士鑫, 等. 中心渔场智能预报系统的设计与实现[J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 69-72.
- [9] 崔雪森, 樊伟, 沈新强. 西北太平洋柔鱼渔情速报系统的开发[J]. 水产学报, 2003, 27(6): 600-605.
- [10] 崔雪森, 陈雪冬, 樊伟. 金枪鱼渔场分析预报模型及系统的开发[J]. 高技术通讯, 2007(1): 100-103.
- [11] Walton C C, Pichel W G, Sapper J F. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperature with the NOAA polar-orbiting environmental satellite [J]. J Geophys Res, 1998, 103: 27999-28012 .
- [12] Brown O B, Minnett P J. MODIS infrared sea surface temperature algorithm theoretical basis document[R]. Version 2.0, 1999.
- [13] Tanahashi S, Kawamura H, Matsuura T, et al. Improved Estimates of wide-ranging sea surface temperature from GMS S-VISSR data [J]. J Oceanogr, 2000, 56: 345-358.
- [14] 周为峰, 张运刚. 基于 ARGO 资料的 MT SAT 海温产品误差分析[J]. 海洋湖沼通报, 2008, 4: 1-5.
- [15] Maul G A. Application of GOES visible-infrared data to quantifying mesoscale ocean surface temperature[J] J Geophys Res, 1981, 86: 8007-8021.
- [16] Wentz F J, Gentemann C, Smith D, et al. Satellite measurements of sea surface temperature through clouds[J]. Science,

- 2000, 288: 847–850.
- [17] 毛志华, 朱乾坤, 潘德炉, 等. 卫星遥感速报北太平洋渔场海温方法研究[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 502–506.
- [18] 毛志华, 朱乾坤, 潘德炉. 卫星遥感业务系统海表温度误差控制方法[J]. 海洋学报, 2003, 23(5): 49–57.
- [19] McClain C R, Barnes R A, Eplee R E, et al. SeaWiFS post-launch calibration and validation analyses, part 2[J]. NASA Tech Memorandum 2000-206892, 2000, 10: 45.
- [20] 席红艳, 张渊智, 丘仲锋, 等. 基于半分析算法的香港邻近海域叶绿素 a 浓度反演[J]. 湖泊科学, 2009, 21(2): 199–206.
- [21] 何宜军. 高度计海洋遥感研究与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [22] 毛志华, 潘德炉, 潘玉球. 利用卫星遥感 SST 估算海表流场[J]. 海洋通报, 1996, 15(1): 84–88.
- [23] 齐义泉, 施平, 王静. 卫星遥感海面风场的进展[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(1): 56–60.
- [24] 许自舟. 客观分析在海洋环境监测业务中的应用[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(A2): 100–103.
- [25] 李云, 刘钦政, 张建华, 等. 最优插值方法在西北太平洋海温同化中的应用研究[J]. 海洋预报, 2008, 25(2): 25–32.
- [26] 乔方利, 张绍清. 现代海洋/大气资料同化方法的统一性及其应用进展[J]. 海洋科学进展, 2002, 20(4): 79–93.
- [27] 王艳珍, 管磊, 曲利芹. 卡尔曼滤波在卫星红外、微波海表温度数据融合中的应用[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(12): 126–130.
- [28] Lee J, South A B, Jennings S. Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system (VMS) data[J]. ICES J Mar Sci, 2010, 67: 1260–1271.
- [29] Walker E, Bez N. A pioneer validation of a state-space model of vessel trajectories (VMS) with observers' data [J]. Ecol Modell, 2010, 221: 2008–2017.
- [30] 崔雪森, 杨胜龙, 樊伟. 基于栅格局部细分的带约束条件的不规则三角网生成算法[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 196–199.
- [31] Miller P. Multi-spectral front maps for automatic detection of ocean colour features from SeaWiFS[J]. Intl J Remote Sens, 2004, 25: 7–8, 1437–1442.
- [32] 杨胜龙, 马军杰, 伍玉梅, 等. 基于 Kriging 方法 Argo 数据重构太平洋温度场研究[J]. 海洋渔业, 2008, 30(1): 19–25.
- [33] 张巍, 张韧, 王辉赞, 等. 分形插值参数的遗传优化及其 ARGO 海温场应用试验[J]. 大气科学学报, 2010, 33(2): 186–192.
- [34] 邵全琴, 戎恺, 游智敏, 等. 海洋渔业中温度水平梯度计算的误差分析和新算法研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(2): 148–157.
- [35] Hopkins J, Challenor P, Shaw A G P. A New statistical modeling approach to ocean front detection from SST satellite images [J]. J Atmos Ocean Technol, 2010, 27(1): 173–191.
- [36] 杜云艳, 苏奋振, 仇天宇, 等. 基于案例推理的海洋涡旋特征信息空间相似性研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(3): 1–9.
- [37] 薛存金, 苏奋振, 周军其. 基于小波分析的海洋锋形态特征提取[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 20–27.
- [38] 杨胜龙, 张禹, 张衡, 等. 热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(3): 671–679.
- [39] 张学宏, 张绪东, 李颜. 海洋温跃层特征值的分析与计算[J]. 海洋预报, 2011, 28(5): 69–76.
- [40] 樊伟, 周甦芳, 沈建华. 卫星遥感海洋环境要素的渔场渔情分析方法及应用[J]. 海洋科学, 2005, 11: 67–72.
- [41] 樊伟, 崔雪森, 沈新强. 西北太平洋巴特柔鱼渔场与环境因子关系研究[J]. 高技术通讯, 2004, 10: 84–89.
- [42] 樊伟, 陈雪忠, 崔雪森. 太平洋延绳钓大眼金枪鱼及渔场表温关系研究[J]. 海洋通报, 2008, 27(1): 35–41.
- [43] 张衡, 樊伟. 2009 年秋冬季东南太平洋智利竹筴鱼的渔业生物学特征[J]. 海洋渔业, 2009, 32(3): 340–344.
- [44] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 第 1 版. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [45] 高峰, 陈新军, 范江涛, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼中心渔场预报的实现及验证[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 754–758.
- [46] Ichiro A, Tadashi I, Isamu M, et al. A prototype expert system for predicting fishing condition of anchovy (Engraulidae) off the coast of Kanagawa Prefecture[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1989, 55(10): 1777–1783.
- [47] Laurent D, Michel P, Stretta J M. Simulation of large scale tropical tuna movements in relation with daily remote sensing data: the artificial life approach [J]. Biosystems, 1997, 44: 167–180.
- [48] Iglesias A, Dafonte C, Arcay B, et al. Integration of remote sensing techniques and connectionist models for decision support in fishing catches[J]. Environ modell softw, 2007, 22: 862–870.
- [49] Solanki H U, Mankodi P C, Nayak S R, et al. Evaluation of remote-sensing-based potential fishing zones (PFZs) forecast

- methodology[J]. *Continental Shelf Res*, 2005, 25: 2163–2173.
- [50] Chandran R V, Jeyaram A, Jayaraman V, et al. Prioritization of satellite-derived potential fishery grounds: an analytical hierarchical approach-based model using spatial and non-spatial data[J]. *Intl J Remote Sens*, 2009, 30(17): 4479–4491.
- [51] Sadly M, Hendiarti N, Sachoemar S I, et al. Fishing ground prediction using a knowledge-based expert system geographical information system model in the South and Central Sulawesi coastal waters of Indonesia[J]. *Intl J Remote Sens*, 2009, 30(24): 6429–6440.
- [52] 世界粮农组织渔业及水产养殖部. 2010世界渔业和水产养殖状况[M]. 联合国粮食及农业组织, 罗马, 2010

Key technologies of operational application in fishing ground analysis and forecasting

FAN Wei^{1,2}, CUI Xuesen¹, WU Yumei¹, ZHOU Weifeng¹, CHEN Xuezhong¹

1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation, Shanghai, 200090 China

2. Key Laboratory of remote sensing & information technology application in fisheries, Shanghai, 20090 China

Abstract: It is very useful for commercial fishing and fishery management of fishing ground analysis and forecasting based on spatial surveillance information technology. According to the results of our research and the operational application of distant water fishery fishing information service system, we review the key technology of fishing ground analysis and forecasting, including the data precision of marine environment factors derived from satellite remote sensing, data fusion of fishing ground environment factors of different sources, real time data acquisition of fishing boats position, data analysis methods and forecasting models. As a summary, we put forward the prospect with regard to the application of fishing ground forecasting study in the future.

Key words: fishing ground; fishing condition forecasting; satellite remote sensing; forecasting model

Corresponding author: FAN Wei. E-mail: fanwee@126.com