

基于 AIS 数据的北印度洋渔船时空活动特征分析

刘明慧^{1,2}, 蔡文博^{1*}, 吴彬锋¹

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 2. 国家海洋环境预报中心 自然资源部海洋灾害预报技术重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 针对海量的分钟级数据, 在区域划分上参考中国近海渔区网格划分方法, 添加时间要素, 在北印度洋区域(48.0°~116.5°E, 28.5°N~26.5°S)以统一的时空要素建立网格并作为基础统计单元。以此为基础, 统计渔船分布面积和作业时间, 并通过几何化处理绘制了时空分布热力图进行分析。结果表明: 渔船的分布面积、活动密集程度与时间变量间存在相关性; 存在一种划分方式, 使得频次分布呈规律性且具备一定的结构特征, 该结构特征较稳定, 不随时间推移而变化。此外, 推测了4个大洋渔场和4条航道的大致地理位置。

关键词: 海量数据; 统一时空; 作业时间; 渔场推测; 航道推测

中图分类号: P715; P724 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2025)01-0048-08

0 引言

在海洋中, 渔船作为常见的承灾体, 常受海浪、气旋等多种海洋灾害的影响, 一旦受灾, 不仅经济损失重大, 还可能危及生命^[1]。通过对渔船活动时空分布特征的分析, 可以确定重点保障区域, 更有针对性地预报海洋灾害, 为海洋渔业安全捕捞活动开展有力指导和保障。在海洋灾害预报等海洋科学领域, 渔船作为一种应用场景, 对其活动特征的深入分析具有重要意义; 此外, 我国远洋渔业已遍布几十个国家的专属经济区, 以及太平洋、大西洋、印度洋等公海区域^[2], 该项工作还可推测大洋渔场的范围及渔业捕捞随季节的变化特征, 更有助于促进渔业发展。

现今, 对渔船活动特征的分析工作成果已有很多, 种类丰富, 侧重点各有不同。这其中, 不乏使用船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)数据开展的研究^[3], 例如: 以中国近海为主, 针对航次进行分析^[4-5]; 针对环境因素和渔船捕捞量进行关联分析^[6]; 以时空特征^[7-8]和船舶几何特征^[9]为核

心, 融合多种数据; 针对渔场特征进行分析^[10]; 此外, 也包括渔船轨迹相关的研究工作^[11-16], 包括行为判别识别、轨迹预测和存储优化。本文针对北印度洋区域渔船 AIS 数据进行时空分布特征分析。

1 背景介绍与分析

1.1 AIS数据源

AIS 是一种船舶导航设备。该系统是一种用于船与岸、船与船之间的海事安全与通信助航系统。系统由通信机、定位仪及传感器等多部分通信控制器组成, 能自动发送船舶移动识别码、交换船位(经纬度)、航向、航速等多种信息。数据范围以北印度洋区域(48.0°~116.5°E, 28.5°N~26.5°S)为主, 时间覆盖约2年, 精度为分钟级别, 总数据量约为20亿条, 涉及渔船的数据有4万余条(每个船舶移动识别码代表一条渔船)。

通过该数据能及时获取渔船地理位置, 数据量大且精度高, 有利于从宏观层面准确反映渔船的活动情况; 此外数据时间覆盖约2年, 具有连续性和周

收稿日期: 2024-03-22。

基金项目: 全球变化与海气相互作用(二期)专项(GASI-04-YBBZ)。

作者简介: 刘明慧(1989-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事数据管理和数据分析工作。E-mail: 916573427@qq.com

*通信作者: 蔡文博(1983-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事海洋预警大数据管理与应用研究。E-mail: 19345288@qq.com

期性,有利于反映渔船活动的规律性变化情况。

1.2 渔业活动

本文分析的渔业活动为远洋渔业,主要以捕鱼为主,可分为航行和作业两个阶段。印度洋渔船作业种类主要分为大洋性渔业和过洋性渔业。通常,把公海上的捕捞作业称为大洋性渔业,在他国专属经济区内的捕捞作业称为过洋性渔业。大洋性渔业主要包括南极磷虾渔业、大型拖网渔业等,作业方式包括拖网、围网、延绳钓等;过洋性渔业主要包括金枪鱼渔业、鱿鱼渔业等,作业方式以拖网为主,也包括少量定置网、流刺网等方式。

渔船在航行和捕鱼时会有不同的状态,停留时间也有差异,通过计算渔业作业时间可反映渔船的活动情况。

印度洋海洋渔业捕捞对象以鸢乌贼、长鳍金枪鱼为主^[17-18],其中,我国捕捞鸢乌贼的作业方式包括灯光敷网、灯光罩网和鱿钓等^[19]。我国已在 2003—2017 年开展了印度洋鱿鱼资源渔场的生产性调查^[20]。

2 数据处理逻辑设计

2.1 数据质量控制

为了获得更严谨的结果,在分析处理前需要对数据进行初步的质量控制。在信息接收过程中会有少量无效信息,质量控制旨在剔除这些无效数据。本文中无效数据主要体现在各种要素信息不符合常理。数据质量控制主要涉及时间、经纬度、船舶移动识别码 3 个要素。对于时间要素,剔除空值、过大值、过小值和类型错误的值;对于经纬度要素,剔除空值、指定区域外的值和类型错误的值;对于船舶移动识别码要素,剔除空值和类型错误的值。

2.2 统计逻辑设计

以每小时的网格为基础统计单元,即每小时渔船在指定区域内出现记为 1,不出现则记为 0;不同时间范围的统计结果在小时统计的基础上相加得出。在时间划分上精确到秒,区间范围为左闭右开。在空间划分上,以 0.5°经纬度为一个区间,即经度 0.5°和纬度 0.5°共同构成一个网格并作为基础统

计单元。数据处理过程为:

$$\pi_{an,at,ao,aa}(\sigma_{de}D_{raw}) = R_{raw} \quad (1)$$

式中: D_{raw} 为原始数据构成的多重集; σ_{de} 为去重运算; $\pi_{an,at,ao,aa}$ 为投影运算,其中,an、at、ao 和 aa 分别为船号数列、时间数列、经度和纬度数列; R_{raw} 为运算结果构成的集合。

$$\sigma_c R_{raw} \rightarrow R_{[lo,la]}^{[t]} \\ R_{[lo,la]}^{[t]} = \{(A_{an}, A_{at}, A_{ao}, A_{aa}) \mid t \leq A_{at} < t' \wedge lo \leq A_{ao} < (lo + 0.5) \wedge la \leq A_{aa} < (la + 0.5)\} \quad (2)$$

式中: $R_{[lo,la]}^{[t]}$ 为一个基础统计单元建立的集合,即 t 时刻左下角经纬度为 (lo, la) 的网格; t' 为 t 的下一时刻,精确到小时; $(A_{an}, A_{at}, A_{ao}, A_{aa})$ 为一条数据记录; σ_c 为选择运算。

$$\sigma_{de}(\pi_{an} R_{[lo,la]}^{[t]}) = R'^{[t]}_{[lo,la]} \quad (3)$$

$$A_{[lo,la]}^{[t]} = \text{card} R'^{[t]}_{[lo,la]} \quad (4)$$

$$S_{[lo,la]}^{[t1,t2]} = \sum_{n=t1}^{t2-1} A_{[lo,la]}^{[n]} \quad (5)$$

式中: σ_{de} 为去重运算; π_{an} 为投影运算; $\text{card} R'^{[t]}_{[lo,la]}$ 为该集合的元素个数; $A_{[lo,la]}^{[t]}$ 为一个基础统计单元的渔船作业时间结果; $S_{[lo,la]}^{[t1,t2]}$ 该网格 $t1 - t2$ 时间区间统计结果。

2.3 分布图制作

在单元统计基础上将数据几何化并以分布图形式呈现,包括时分布图、日分布图、月分布图、季度分布图和年分布图。

制作分布图是为了更好地反映渔船分布差异,而分位数可以根据渔船数量把多个区域分成多个层次,图例设置采用分位数统计法。即先用分位数对数据进行大致划分,再在此基础上进行人工微调,得出最终图例。分位数是将随机变量的概率分布范围分为几个等份的数值点,常用的有中位数(即二分位数)、四分位数、百分位数等。

图例设置先使用十一分位数定出基数,在此基础上进行调整。由于每年数据量大小不一且差距较大,因此年分布图采取单一标准,即每年的图例绝对值不相同。月分布图先提取出所有数据中一个格子的极值,依据该月份采用分位数统计法设定图例,后进行人工微调,确定最终图例并应用于所有月份。其余 3 类分布图图例设置方法与月分布图相同。

3 数据处理逻辑实现

数据处理包括数据预处理、数据统计和绘图,详细流程见图2。基于ITU-RM.1371标准协议,远洋渔船AIS原始报文中包含大量渔船静态和动态信息,将原始报文解码后获取的数据信息分别存入AIS信息数据库的两种渔船基本表(动态表和静态表)中,渔场、港口信息表以及轨迹特征表等基本表经过系统处理运算后得出。在解码入库后,导出、数据处理及绘图等数据功能利用Python程序完成,过程数据均以Excel文档形式存储。

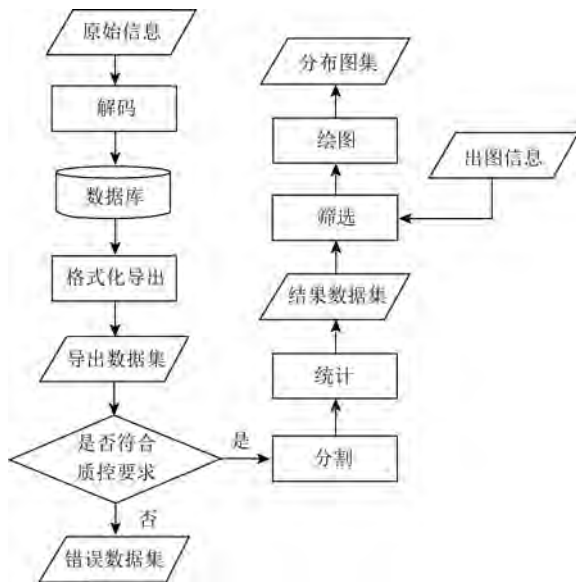


图1 数据处理逻辑实现流程图

Fig.1 Data processing logic implementation flowchart

整个处理过程中,导出数据集约有1.6万个文件;结果数据集约有1.6万个文件,数据量约为670万条;整个过程涉及约670万个文件。

4 数据分析

在上述建立的基础单元上,依据渔船时空分布特征进行数据分析,包括区域分布、作业时间分布和渔场及航道推测,分析方法见图2。

4.1 区域分布

在统计结果数据集基础上,剔除沿海近岸区

域,只取北印度洋区域,以季度为单位,计算渔船每日平均分布面积,即将一个季度内每日渔船覆盖面积相加后除以有效天数。面积计算以覆盖格子数为准,渔船覆盖一个格子面积计为1。将计算后的值和相应时间绘制成折线图(见图3)。

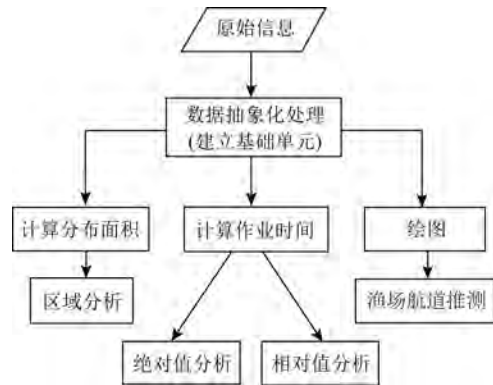


图2 数据分析内容示意图

Fig.2 Schematic diagram of data analysis content

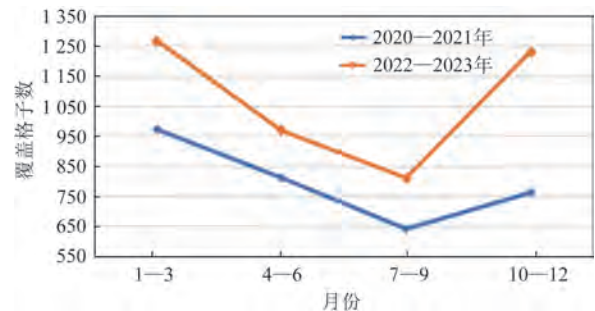


图3 北印度洋渔船区域分布折线图

Fig.3 Line chart of regional distribution of fishing vessels in the Northern Indian Ocean

如图所示,在2020—2021年和2022—2023年,两条折线随季度不同而变化,从第一季度开始逐步下降,到第三季度降至最低,随后开始上升。整体来看,两条折线的走势基本一致,由此可知,渔船的分布面积随着季度变化,两者存在相关性。造成此种现象的原因推测与热带气旋活动相关,7—9月为北印度洋热带气旋高发期,会对渔船活动产生影响。

4.2 作业时间分布

4.2.1 相对值分析

在统计结果数据集基础上,取北印度洋区域,

以月为单位,选取2022年8月—2023年7月的数据,计算所有网格渔船作业时间的日平均数,即将单月内每个格的渔船作业时间相加后除以有效天数。

根据渔船作业时间平均数设定11个区间,即 $(6\ 000, +\infty)$ 、 $[6\ 000, 3\ 000)$ 、 $[3\ 000, 1\ 000)$ 、 $[1\ 000, 600)$ 、 $[600, 300)$ 、 $[300, 100)$ 、 $[100, 50)$ 、 $[50, 30)$ 、 $[30, 15)$ 、 $[15, 5)$ 、 $[5, 0)$,统计每个月各区间的网格占比(即该区间网格数除以总网格数)。以平均数区间为 x 轴,作业时间处于该区间的网格数占比为 y 轴,绘制每月折线图。由图4可以看出,折线在不同区间产生变化,从 $[3\ 000, 1\ 000)$ 开始逐步上升,在 $[300, 100)$ 形成一个小高峰,随后开始下降,至 $[50, 30)$ 后占比又开始逐步上升,至 $[15, 5)$ 达到第二个

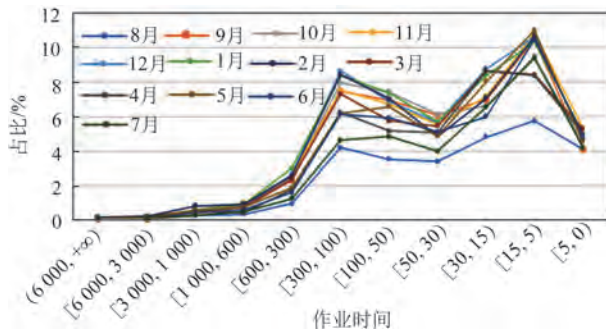


图4 北印度洋渔船作业时间平均数区间占比图

Fig.4 The proportion of the average operating time interval of fishing vessels in the Northern Indian Ocean

高峰后再次下降。整体来看,12个月的折线走势基本一致,由此可知,在此种区间划分下,占比分布有一定的结构,存在规律性。

以月为单位,将所有网格的渔船作业时间平均数按从大到小的顺序排列。根据百分位,取每个月排位第5%、10%、15%、20%、25%和30%的网格作业时间进行对比。以月份为 x 轴,作业时间为 y 轴,绘制每个排位的折线对比图。由图5所示,渔船作业时间随月度而变化,但变化趋势相似,即渔船作业时间在7—8月为最小值,后上升至12月—次年2月达到峰值再次下降,在下降过程中于5月再次小幅上升形成一个小高峰。整体来看,月度间相对大小并未随排位不同而变化,由此可知,渔船作业时间分布在结构上相似,集中程度相同,相对差值变化不大。

4.2.2 绝对值分析

以排位为 x 轴,作业时间平均数为 y 轴,绘制每月折线图(如图6)。由图所示,折线随不同排位而变化,整体上变化比较统一,即绝对值较大的月份几乎在任何排位点都处于高位。由此可知,12月—次年2月渔船活动更频繁更密集。

4.3 渔场及航道分析

以月为单位,将数据进行几何化处理(见图7),从中可提取出3类相似的几何图形,分别为沿岸的

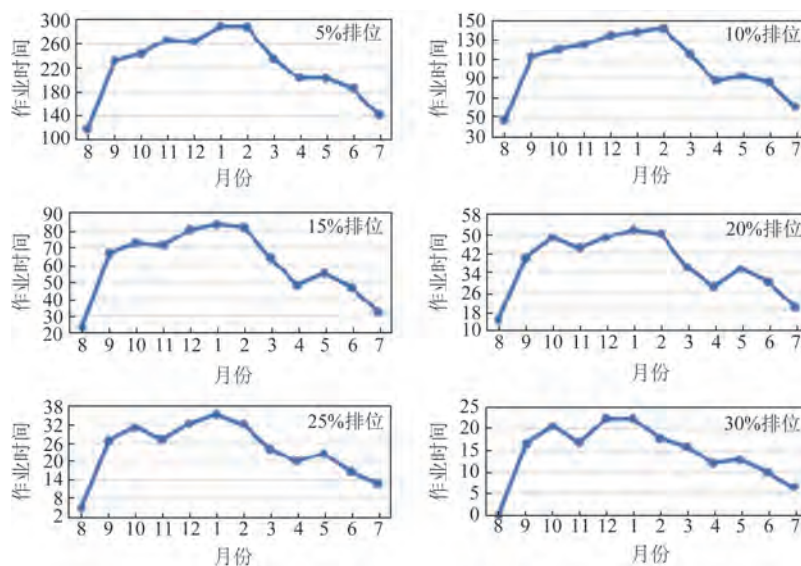


图5 北印度洋渔船作业时间排位数对比图

Fig.5 Comparison chart of the ranking number of operational time for fishing vessels in the Northern Indian Ocean

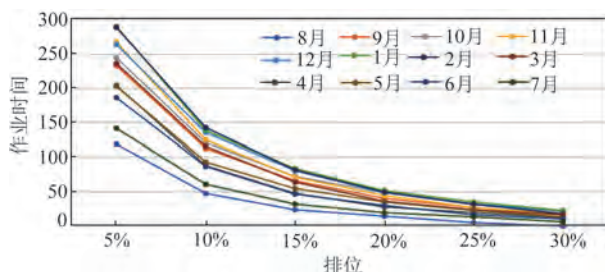


图6 北印度洋渔船作业时间平均数绝对值图

Fig.6 Absolute value chart of the average operating time of fishing vessels in the northern Indian Ocean

块状图形、海洋的长条状图形和块状图形。沿岸的块状图形中靠近陆地的一侧为渔船作业时间高频次分布,延申至海洋区域高频次分布逐步减小;海洋长条状图形的中心为高频次分布并形成一条线,围绕线条边缘为低频次分布;海洋的块状图形中心点为高频次分布,周围边缘频次分布逐步减小。

渔船的不同行为会形成不同的轨迹特征,从而呈现不同图形。捕鱼行为多在一定区域内停留一段时间后离开,形成中心高频次分布的块状图形;航行则几乎无停留,形成线性轨迹的条状图形。根据相似的几何形状特征可以推测出渔场和航道分布(见图8)。大致范围如下:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &32x \geq 23y + 1416 \wedge 34x \leq 2763 - 14y \wedge 15x \leq 454 + 37y\} \\
 F_2 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &5x \geq 34y + 104 \wedge 4x \leq 147 - 2y \wedge 6x \leq 497 - 22y \wedge x \leq 48\} \\
 F_3 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &5x \geq 12y + 500 \wedge 2x \geq 124 + y \wedge 6x \leq 313 - 2y \wedge y \geq -26.5\} \\
 F_4 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &2x \geq y + 171 \wedge 10x \leq 645 - 37y \wedge 35x \geq 2592 - \\
 &27y \wedge 15x \leq 1453 - 8y \wedge y \geq -26.5\} \\
 C_1 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &3x \geq 278 - 8y \wedge 24x \leq 2275 - 62y \wedge 5.5 \leq y \leq 12.5\} \\
 C_2 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &(11x \geq 10y + 777 \wedge 11x \leq 782 + 9y \wedge -16 \leq y \leq \\
 &-4 \wedge 57 \leq x \leq 67) \vee (8x \geq 22y + 623 \wedge x \leq 4y + \\
 &72 \wedge 82 \leq x \leq 94) \vee (11x \geq 30y + 857 \wedge x \leq \\
 &2y + 77 \wedge 67 \leq x \leq 82)\} \\
 C_3 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &104x \geq 146y + 10787 \wedge 98x \geq 8507 + 146y \wedge 5.5 \geq \\
 &y \geq -20.5\} \\
 C_4 &= \{(x, y) | x \in \mathbf{R} \wedge y \in \mathbf{R}, \\
 &874 - 11x \geq y \geq 1007 - 13x \wedge 6 \geq y \geq -7\}
 \end{aligned}$$

式中: F_1 — F_4 分别代表4个渔场; C_1 — C_4 分别代表4个航道; (x, y) 为经纬度坐标。

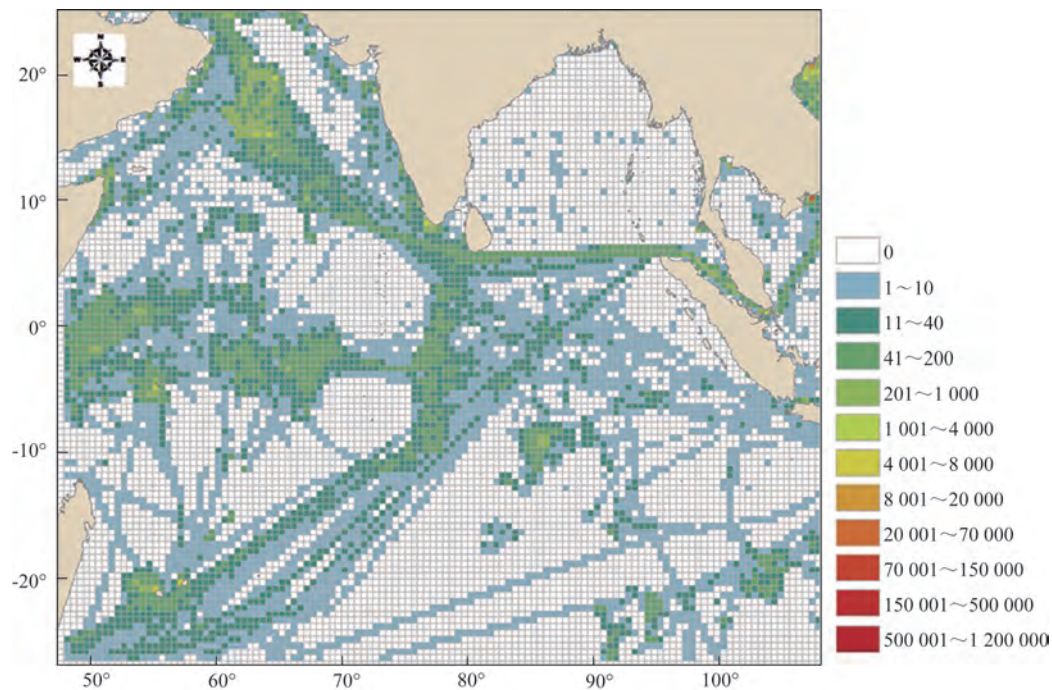


图7 北印度洋渔船作业时间分布图(示例)

Fig.7 Distribution map of fishing vessel operation time in the Northern Indian a case

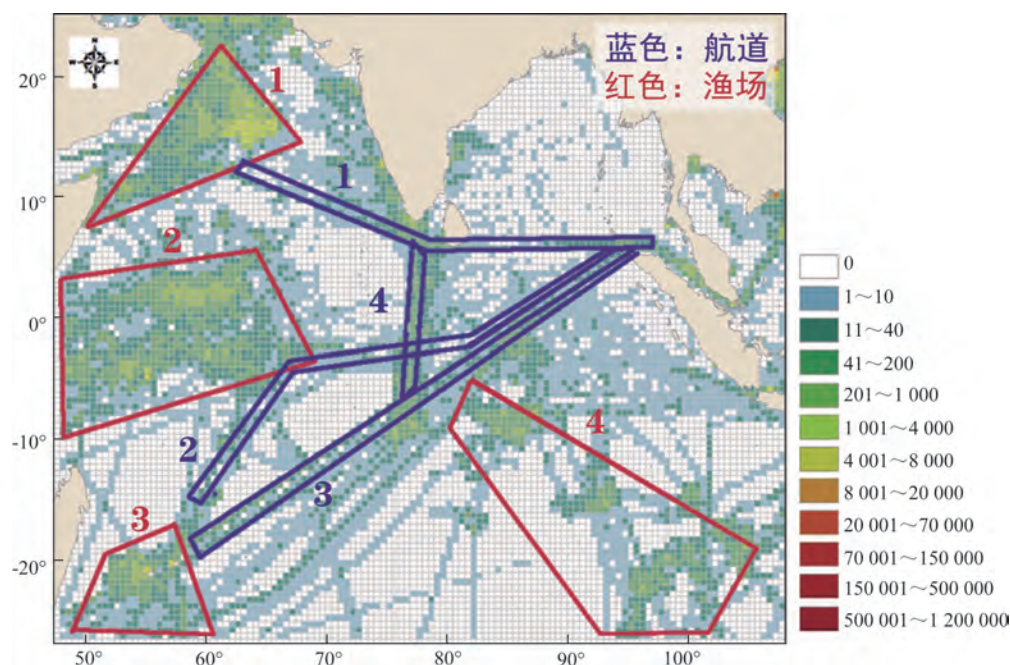


图8 北印度洋渔场航道推测示意图

Fig.8 Schematic diagram of fishing fields and waterways speculation in the Northern Indian Ocean

此外,渔场和航道分布会随时间发生变化。 F_1 渔场3—4月的渔船频次分布和覆盖范围达到最大,6—8月较少,几乎为零,9月开始回升; F_2 渔场全年渔船频次分布和覆盖范围基本稳定,于7—9月达到最低但仍可见,总体分布随时间变化分为3~4块不同中心的独立小渔场,它们在整体大渔场范围内呈分散状,在北印度洋范围内呈聚集状; F_3 渔场全年频次分布和覆盖范围基本稳定,变化幅度不大; F_4 渔场以 $(10^{\circ}\text{S}, 85^{\circ}\text{E})$ 、 $(15^{\circ}\text{S}, 92^{\circ}\text{E})$ 和 $(20^{\circ}\text{S}, 100^{\circ}\text{E})$ 为中心分成3块独立的小渔场,频次分布和覆盖范围在1—5月较为明显且达到最高,6月后变少,个别独立小渔场消失。 C_1 航道在6—7月基本消失,有极少渔船分布; C_2 航道和 C_3 航道的四季变化不大,比较稳定; C_4 航道在12月基本消失,没有渔船分布。

5 小结

本文对海量渔船位置动态信息进行处理及分析,通过区域面积计算和频次计算分析出渔船分布特点;通过绘制热力图推测出渔场和航道。总体可知,渔船的分布面积、活动密集程度与时间变量存在相关性,并与鸕乌贼渔获量变化趋势^[19]相似。在

本文的划分方法下,频次分布存在规律性,有一定的结构特征,且该分布结构特征比较稳定,不随时间变化而变化。依据该数据还推测出4个大洋渔场和4条航道的大致地理位置,其中 F_3 渔场与长鳍金枪鱼产量累计分布^[18]位置基本一致。通过建立基础单元的方法统一了时空要素,未来在此基础上可以有更多的研究空间,在纵向上可对数据进一步细化分析,横向上可结合其他数据开展渔业市场等分析。

参考文献:

- [1] 应急管理部-教育部 减灾与应急管理研究院,北京师范大学 国家安全与应急管理学院,应急管理部国家减灾中心,红十字会与红新月会国际联合会. 全球自然灾害评估报告[R]. 北京: 应急管理部-教育部减灾与应急管理研究院,北京师范大学国家安全与应急管理学院,应急管理部国家减灾中心,红十字会与红新月会国际联合会, 2019-2022.
- Academy of Disaster Reduction and Emergency Management Ministry of Emergency Management & Ministry of Education (ADREM), Beijing Normal University School of National Safety and Emergency Management, National Disaster Reduction Center of China, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, IFRC. Global natural disaster assessment report[R]. Beijing: Academy of Disaster Reduction and Emergency

- Management Ministry of Emergency Management & Ministry of Education (ADREM), Beijing Normal University School of National Safety and Emergency Management, National Disaster Reduction Center of China, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, IFRC, 2019-2022.
- [2] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国的远洋渔业发展白皮书[R]. 北京: 中华人民共和国国务院新闻办公室, 2023.
- The State Council Information Office of the People's Republic of China. Development of China's distant-water fisheries[R]. Beijing: The State Council Information Office of the People's Republic of China, 2023.
- [3] 许振琦, 汪金涛, 雷林, 等. AIS 数据在远洋渔业中的应用研究进展[J]. 海洋渔业, 2023, 45(2): 237-247.
- XU Z Q, WANG J T, LEI L, et al. Research progress on application of AIS data in distant-water fishery[J]. Marine Fisheries, 2023, 45 (2): 237-247.
- [4] 汤先峰, 张胜茂, 樊伟, 等. 基于北斗船位数据的江苏渔船航次分析[J]. 渔业现代化, 2020, 47(1): 63-71.
- TANG X F, ZHANG S M, FAN W, et al. Voyage analysis of Jiangsu fishing vessels based on Beidou position data[J]. Fishery Modernization, 2020, 47(1): 63-71.
- [5] 高明远, 张胜茂, 汤先峰, 等. 中国近海捕捞机动渔船航次特征数据挖掘[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(1): 147-154.
- GAO M Y, ZHANG S M, TANG X F, et al. Data mining of trip characteristics for offshore fishing vessels in China[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(1): 147-154.
- [6] 王德兴, 罗静静, 袁红春. 渔船定位捕捞与环境因子的关联分析[J]. 导航定位学报, 2019, 7(4): 42-49.
- WANG D X, LUO J J, YUAN H C. Association analysis between fishing vessel positioning and environmental factors[J]. Journal of Navigation and Positioning, 2019, 7(4): 42-49.
- [7] 吴佳文, 官文江. 基于 SNPP/VIIRS 夜光遥感数据的东、黄海渔船时空分布及其变化特点[J]. 中国水产科学, 2019, 26(2): 221-231.
- WU J W, GUAN W J. Study on the distribution and variation of fishing vessels in East China Sea and Yellow Sea based on the nighttime light remote sensing data from SNPP/VIIRS[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(2): 221-231.
- [8] TANG G L, CAO Q K, LI X. Analysis of vessel behaviors in costal waterways using big AIS data[C]//2019 IEEE 4th International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA). Chengdu: IEEE, 2019: 290-294.
- [9] ZHONG H Y, SONG X, YANG L. Vessel classification from space-based AIS data using random forest[C]//2019 5th International Conference on Big Data and Information Analytics (BigDIA). Kunming: IEEE, 2019: 9-12.
- [10] 赵东彬. 基于渔船作业数据的东海渔场特征分析[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.
- ZHAO D B. Analysis of fishery characteristics of East China Sea based on fishing vessel data[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019.
- [11] 吴宝福. 基于轨迹数据的渔船行为判别关键技术研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2019.
- WU B F. Research on key technology of vessel behavior identification based on trajectory data[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2019.
- [12] ZHANG J L, GENG J L, WAN J, et al. An automatically learning and discovering human fishing behaviors scheme for CPSCN[J]. IEEE Access, 2018, 6: 19844-19858.
- [13] 郭刚刚, 樊伟, 薛嘉伦, 等. 基于 NPP/VIIRS 夜光遥感影像的作业灯光围网渔船识别[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 245-251.
- GUO G G, FAN W, XUE J L, et al. Identification for operating pelagic light-fishing vessels based on NPP / VIIRS low light imaging data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(10): 245-251.
- [14] WANG C, REN H X, LI H J. Vessel trajectory prediction based on AIS data and bidirectional GRU[C]//2020 International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning (CVIDL). Chongqing: IEEE, 2020: 260-264.
- [15] FORTI N, MILLEFIORI L M, BRACA P, et al. Prediction of vessel trajectories from AIS data via sequence-to-sequence recurrent neural networks[C]//ICASSP 2020—2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Barcelona: IEEE, 2020: 8936-8940.
- [16] HUAN Y C, KANG X Y, WANG Y F, et al. IAVT: anomalous vessel trajectory detection using AIS data[C]//2022 5th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD). Chengdu: IEEE, 2022: 17-22.
- [17] 陈俊霖, 赵国庆, 张胜茂, 等. 西北印度洋公海渔场鳶乌贼的时空分布变化规律[J/OL]. 水产学报, (2025-01-08). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20230530.1003.002.html>.
- CHEN J L, ZHAO G Q, ZHANG S M, et al. Study on temporal and spatial distribution characteristics of *Symplectoteuthis oualaniensis* in high seas fishing ground of northwest Indian Ocean[J/OL]. Journal of Fisheries of China, (2025-01-08). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20230530.1003.002.html>.
- [18] 张亚男, 官文江, 李阳东. 印度洋长鳍金枪鱼栖息地指数模型的构建与验证[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(2): 268-279.
- ZHANG Y N, GUAN W J, LI Y D. Construction and verification of a habitat suitability index model for the Indian Ocean albacore tuna[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(2): 268-279.
- [19] 温利红, 张衡, 方舟, 等. 不同捕捞方式下印度洋北部鳶乌贼渔场时空分布差异[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(6): 1079-1089.
- WEN L H, ZHANG H, FANG Z, et al. Spatial and temporal distribution of fishing ground of *Sthenoteuthis oualaniensis* in northern Indian Ocean with different fishing methods[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(6): 1079-1089.

[20] 陈新军, 钱卫国, 刘必林, 等. 主要经济大洋性鱿鱼资源渔场生产性调查与渔业概况[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 344-356.

CHEN X J, QIAN W G, LIU B L, et al. Productive survey and fishery for major pelagic economic squid in the world[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 344-356.

Spatiotemporal activity characteristics of fishing vessels in the North Indian Ocean based on AIS data

LIU Minghui^{1,2}, CAI Wenbo^{1*}, WU Binfeng¹

(1. National Marine Environment Forecasting Center, Beijing 100081, China; 2. National Marine Environmental Forecasting Center, Key Laboratory of Marine Hazard Forecasting Technology, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China)

Abstract: For massive minute level data, referring to the grid of China's offshore fishing areas in regional division, time element is added to establish a grid in the northern Indian Ocean region ($48.0^{\circ}\sim 116.5^{\circ}\text{E}$, $28.5^{\circ}\text{N}\sim 26.5^{\circ}\text{S}$) as basic statistical unit. Based on the statistical unit, this study analyzes the distribution area, calculates operation time, and geometrically draws spatiotemporal distribution heat maps. Results show that there is a correlation between the distribution area of fishing vessels, the frequency of activity density, and time variables. There is a division method that makes the frequency distribution regular with a relative stable time-invariant structural characteristic. In addition, the approximate geographical locations of four oceanic fishing fields and four waterways are also speculated.

Key words: mass data; unified time and space; operation time; fishery speculation; channel speculation