

# 基于北斗船位数据的渔业信息解译与应用研究 ——以中国毛虾限额捕捞管理为例\*

李国东<sup>1,2</sup> 仲霞铭<sup>2</sup> 熊 瑛<sup>2</sup> 龚海翔<sup>3</sup> 汤建华<sup>2</sup> 施金金<sup>2</sup> 吴 磊<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 江苏省海洋水产研究所 南通 226007; 3. 江苏省连云港市灌云县农业农村局 灌云 222200)

**摘要** 2020 年 6 月 15 日—7 月 15 日, 我国首次中国毛虾(*Acetes chinensis*)限额捕捞试点于江苏连云港实施。本研究提取 62 艘毛虾网船在限额捕捞期间的 421700 条北斗船位数据经纬度、航速、航向等信息, 运用缓冲区叠加分析法、DBSCAN 密度聚类算法、平均中心算法、核密度估计以及数据库查询对捕捞努力量等管控要素进行分析研究。结果显示, 所有毛虾网船累计作业 239 个航次、1942 个网次, 捕捞过程分为航行、抛锚布网、等待渔获、收渔获、停航等 5 个状态, 中国毛虾捕捞状态船位点呈直线分布, 总捕捞时长为 4413.73 h, 82.4% 的单网次捕捞时长为 1.5—3.5 h, 各网次捕捞产量呈现多核心空间分布模式, 总捕捞努力量为 108106343 m<sup>2</sup>·h, 计算 62 艘的捕捞总产量值约为 2328 t, 比上报产量高 12.6%; 本文通过北斗船位数据解译和提取捕捞努力量以计算中国毛虾捕捞产量及资源空间分布情况, 有效应用于中国毛虾限额捕捞, 为解决我国单品种限额捕捞难点积累了宝贵经验。

**关键词** 渔船监控系统; 毛虾网; 捕捞努力量; 产量计算; 限额捕捞

中图分类号 S975 doi: 10.11693/hyh20201000288

中国毛虾(*Acetes chinensis*) (简称“毛虾”), 为浮游性小型虾类, 分布于我国河口港湾附近水深不超过 20 m 的泥沙底质浅海, 主要产地为江苏、山东、浙江、福建等沿海海域, 是我国重要的海洋经济渔业资源。我国毛虾捕捞产量自 20 世纪 50 年代以来持续上升, 2006 年达到最高 72 万 t, 此后开始急剧下降, 2018 年降至 42.5 万 t (农业农村部渔业渔政管理局等, 2006, 2019)。2020 年, 我国首次实行毛虾限额捕捞, 于江苏试点。

船位监控系统(vessel monitoring system, VMS)是一种集全球卫星定位、电子地图、电子海图、计算机网络通讯和数据库技术的一体化应用系统(季民等, 2005), 记录了渔船船位、航速、航向等实时动态, 已被广泛应用于海洋渔业领域。目前, 我国共计 6 万余艘近海机动捕捞渔船安装了北斗船载终端, 将为我国海洋渔业管理提供极具应用前景的大数据平台;

尤其现阶段我国渔捞日志的真实性、及时性、有效性无法完全得到保障的情况下(陈静娜等, 2018; 唐议等, 2020), VMS 数据无疑提供了一个全新的技术途径。

自 20 世纪以来, 国内外学者针对拖网、刺网、张网、灯光罩网等代表性作业渔船的 VMS 数据, 利用神经网络、空间聚类等方法挖掘并开展船位点状态(Lee *et al.*, 2010; Vermard *et al.*, 2010; 张胜茂等, 2015a, b; Wang *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016)、航程(Wang *et al.*, 2016)、航次(张胜茂等, 2018; 汤先峰等, 2020)以及网次(张荣瀚等, 2019)等分析, 这为我国全面实施限额捕捞奠定了基础。管控捕捞努力量等要素是限额捕捞执行的关键, 而迄今为止, 尚未涉及 VMS 数据在限额捕捞中的直接应用研究。本研究基于中国毛虾限额捕捞试点, 对 VMS 数据进行解译、提取分析, 以期为针对性地解决我国当前单品种限额捕捞试点难点积累经验。

\* 农业农村部专项——东海区海洋渔业资源调查与资源研究专项(2020 年); 江苏省农业综合执法专项, 2020-SJ-018 号; 江苏省农业农村综合信息统计监测专项, 2020-SJ-014 号。李国东, 硕士研究生, E-mail: liguodong0123@163.com

通信作者: 仲霞铭, 研究员, E-mail: oceanxmzh@163.com; 熊 瑛, 博士, 研究员, E-mail: yxiongshfu@126.com

收稿日期: 2020-10-16, 收修改稿日期: 2021-03-24

## 1 数据与方法

### 1.1 毛虾限额捕捞许可

根据《农业农村部关于 2020 年伏季休渔期间特殊经济品种专项捕捞许可和捕捞辅助船配套服务安排的通告》，毛虾限额捕捞试点海域为江苏连云港海域；限额捕捞时间为 2020 年 6 月 15 日—7 月 15 日；毛虾捕捞渔船全长不小于 24 m、主机功率不小于 110 kW；专用网具为多锚混合张网(以下简称“毛虾网”)，属张网类，其规格为“每片网长 60 m、网高 18 m，单船最多携带 25 片网具”。

### 1.2 数据基础

北斗 VMS 船位点数据来源于北斗民用分理服务商，由北斗渔船终端定时发送，时间分辨率一般为 3 min，空间分辨率约 10 m，主要包含定位时间、经纬度、航速以及航向信息等。本研究以基于北斗渔船监控系统所获取的 62 艘特许捕捞毛虾网船于 2020 年 6 月 15 日—7 月 15 日间 VMS 数据作为研究对象，剔除毛虾网船出港前和返港后航速为零值的数据后，共 421700 条有效船位点数据作为分析使用。

### 1.3 渔船状态划分

毛虾网一般在白天从事捕捞作业，渔船每个航次可分为出港、捕捞作业、停航休息、转场探寻以及返港等 5 个阶段，其中捕捞作业阶段再可细分为抛锚布网、等待渔获以及起网收渔获等 3 种作业状态(表 1)。以下是对 5 个阶段的详细叙述：毛虾作业渔船通常以

大于 10.0 kn 航速到达作业渔场。随后渔船以航速 3.0—6.0 kn 进行抛锚布网，由于毛虾网的抛锚和布网是高度关联的连续行为，故划分为同一状态，持续时间约 0.5—1.0 h；抛锚布网完毕，渔船处于等待渔获状态，航速为 0.0—0.6 kn，等待渔获时长约 1.0—3.0 h；然后进入起网收渔获阶段，航速为 0.6—2.0 kn，持续时间约为 2.0—3.0 h。在捕捞区域出现毛虾渔获量无法维持捕捞成本及利润的情况，渔船选择转场探寻或者结束捕捞返港。本文随机选取某特许捕捞渔船(以下简称“渔船 111”)的 10 天 VMS 数据，对表 1 划分的渔船状态对应航速进行验证，图 1 以渔船 111 在 6 月 22 日 0:00—24:00 的航速变化情况为例进行说明。根据毛虾网船作业特点并结合航行日志划分了 14 段(图 1)，即：处于抛锚布网状态的  $S_P$  段、等待渔获状态的  $S_D$  段、起网收渔获的  $S_S$  段、航行状态的  $S_H$  段以及停航休息状态的  $S_T$  段，其各状态渔船对应的航速情况与表 1 相符。

### 1.4 基于缓冲区、叠加分析的航次提取

由于北斗船位数据具有高精度的时空分辨率，可通过分析港口海岸线与船位数据的空间关系进行渔船航次提取(张胜茂等, 2016b)。本研究使用 ArcGIS 10.2 软件以毛虾限额捕捞指定渔获物定点上岸渔港“燕尾港”及附近海岸线为基准对外缓冲 1 nmile，使缓冲线处在毛虾限额捕捞区域边界线与港口海岸线之间，其与渔船轨迹线叠加提取的交点，即为渔船的从渔港出发或返回渔港的位置，从而进行渔船航次提取。

表 1 毛虾网船作业阶段划分及航速情况  
Tab.1 The fishing stages and speeds of the fishing vessel with stow nets

阶段划分	渔船状态	航速(kn)	持续时间(h)	备注
渔港出发	快速航行( $S_H$ )	大于 10.0	2.0	视具体港口与渔场距离而定
	抛锚布网( $S_P$ )	3.0—6.0	0.5—1.0	每天布网 2 次, 1 船携带约 25 片网, 平潮时布网
捕捞作业	等待渔获( $S_D$ )	0.0—0.6	1.0—3.0	因有铁锚固定位置, 但受到潮流影响, 所以航速为 0.0—0.6 kn
	起网收渔获( $S_S$ )	0.6—2.0	2.0—3.0	渔获被快艇运回码头, 渔船继续留在渔场作业
停航休息	停航休息( $S_T$ )	0.0—0.6	—	渔船一般在晚上停航休息, 与等待渔获状态相似
转场探寻	快速航行( $S_H$ )	大于 10.0	—	需要用测深仪、探鱼器进行毛虾资源的测定
返回渔港	快速航行( $S_H$ )	大于 10.0	2.0	渔获量无法维持经济成本及利润, 渔船结束捕捞返港

### 1.5 基于 DBSCAN 聚类算法的网次提取

DBSCAN (Density-based Spatial Clustering of Application with Noise)算法是最早由 Martin 等提出的一种基于密度的空间数据聚类算法(Ester *et al.*, 1996)。该算法通过  $\epsilon$  邻域和邻域密度阈值 MinPts 两个参数分析样本点分布的紧密程度, 进而得到聚类数(伍育红, 2015; 原作辉等, 2020)。其中,  $\epsilon$  邻域为样

本集中与检索点的距离不大于  $\epsilon$  值的区域; MinPts 表示在检索点  $\epsilon$  邻域内的样本最小数量(罗丹等, 2017)。由于同一艘毛虾网船在不同时间段可能在同一区域连续多次抛锚布网进行捕捞, 仅仅基于空间密度进行聚类, 会导致提取网次比实际网次少, 因此使用 DBSCAN 算法提取网次时需考虑一般情况毛虾网 1 网次捕捞作业抛锚布网所耗时长, 即时间阈值  $T$ 。

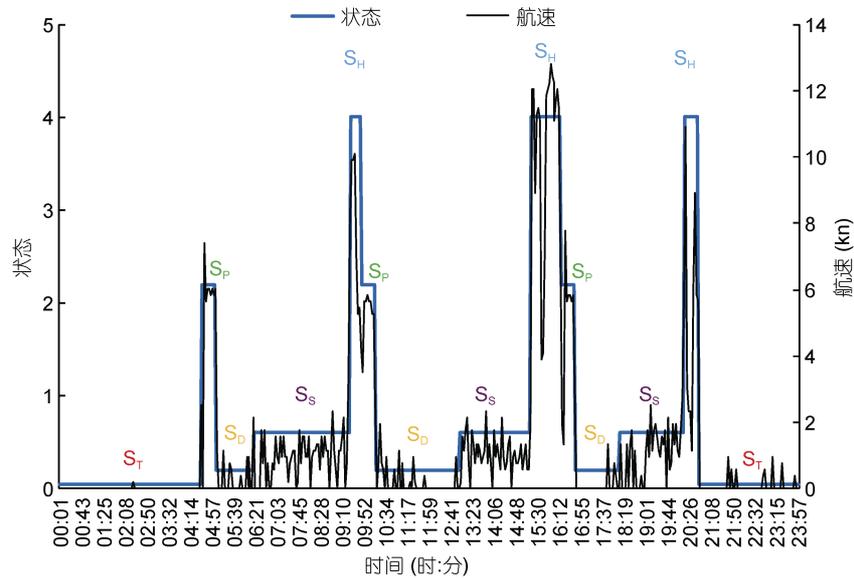


图1 渔船111航速与渔船状态关系

Fig.1 Relation between speed and status of the fishing vessel No.111

以毛虾网船1个完整的作业网次(包括抛锚布网、等待渔获、起网收渔获)来设定  $\text{MinPts}$ 、 $\varepsilon$  邻域, 和时间阈值。渔船抵达作业渔场后首先进行抛锚布网, 北斗时间分辨率为 3 min, 检索点 3 min 前后应各包含一个抛锚布网点, 即  $\text{MinPts}$  为 3; 依据抛锚布网状态下的船速最大阈值 3 m/s 与时间分辨率的乘积 540 m 作为  $\varepsilon$  邻域的值; 渔船1个网次持续时长约为 60 min, 即相邻网次抛锚布网点集间的时间间隔在 60 min 以上, 时间最小阈值为 60 min。因此, 本研究设定  $\varepsilon=540$  m、 $\text{MinPts}=3$ 、时间最小阈值  $T=60$  min 进行网次提取。

### 1.6 捕捞时长、捕捞努力量的提取与产量分析

VMS 船位点数据包含定位时间、航速及航向等信息, 由于毛虾网船不同作业阶段船位点的航速及状态持续时长之间显著的差异, 基于式(1)运用数据库查询并设定相应状态阈值, 结合毛虾捕捞仅于白天作业的属性及提取得到网次数据等特征参数进行综合判断, 提取渔船捕捞阶段中各状态的船位点。

$$P = F(v, t) \quad (V_{\min} < v < V_{\max}, T_{\min} < t < T_{\max}), \quad (1)$$

式中,  $V_{\min}$  和  $V_{\max}$  为渔船处于某状态对应的速度最小阈值和最大阈值;  $T_{\min}$  和  $T_{\max}$  是渔船处于该状态的持续时间最小阈值和最大阈值。

结合表1, 首先设置航速阈值为 1.5 m/s  $v < 3$  m/s, 时间阈值为 30 min  $t < 60$  min, 提取抛锚布网状态的点集; 随后设置航速阈值为 0 m/s  $v < 0.3$  m/s, 时间阈值为 60 min  $t < 180$  min, 提取等待渔获状态的点集; 最后设置航速阈值 0.3 m/s  $v < 1$  m/s, 时间阈值

为 120 min  $t < 180$  min, 提取起网收渔获状态的点集。以毛虾网船各网次的第一个处于抛锚布网状态的船位点数据作为捕捞起始点, 并以该点的定位时间作为该网次的捕捞开始时间; 以各网次的第一个处于起网收渔获状态的船位点数据作为捕捞结束点, 并以该点的定位时间作为该网次的捕捞结束时间。毛虾网船各网次的捕捞时长计算方法如式(2)所示。

$$T_k = E_k - B_k, \quad (2)$$

式中,  $E_k$  和  $B_k$  分别为毛虾网第  $k$  网次的捕捞结束时间和捕捞开始时间,  $T_k$  为第  $k$  网次的捕捞时长(h)。

一段时间内某艘毛虾网船捕捞作业分为多个网次, 每个网次的捕捞时长不同。因此将该船每个网次的捕捞时长累加, 得到的累计捕捞时间与网口迎流总面积的乘积( $\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )即是该船这期间内在该海域的捕捞努力量, 如式(3)所示。

$$E = \sum_1^k T_k \cdot S_k = \sum_1^k T_k \cdot L_k \cdot H, \quad (3)$$

式中,  $T_k$  为该毛虾网船第  $k$  网次捕捞时长(h);  $S_k$  为该船第  $k$  网次网口迎流总面积( $\text{m}^2$ );  $L_k$  为第  $k$  网次有效布网距离(m);  $H$  为毛虾网具高度(m);  $E$  为该渔船总捕捞努力量( $\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )。

核密度分析主要用于计算在指定邻近区域范围内点、线要素测量值的单位密度。本文基于计算得到的各网次捕捞产量数据, 运用核函数(式4)进行分析, 能直观反映出各网次捕捞产量在捕捞区域的分布情况。

$$D = \frac{3(1 - \text{Scale}^2)^2}{\pi r^2}, \quad (4)$$

式中,  $r$  为捕捞产量核分析查找半径, Scale 为栅格中心点到网位点的距离与查找半径的比例。

## 2 结果

### 2.1 渔船航次及网次提取

将缓冲线与渔船轨迹线叠加提取到交点, 按时间顺序排列后即每相邻 2 个交点对应渔船 1 个航次, 得到所有毛虾网船在 2020 年 6 月 15 日—7 月 15 日期间共 239 个航次, 与渔船捕捞日志的航行记录完全

吻合。运用 DBSCAN 算法进行密度聚类, 得到所有渔船在该段时间内捕捞作业共 1942 网次, 平均每天捕捞作业 64.7 网次。

### 2.2 渔船网位及捕捞时长提取

以渔船 111 为例, 利用 DBSCAN 算法提取出网次数据后, 可依据该渔船处于抛锚布网、等待渔获以及起网收渔获这 3 种不同状态下航速以及持续时间的差异提取相应状态(图 2), 可见处于毛虾捕捞作业状态的船位点呈现直线分布形态。

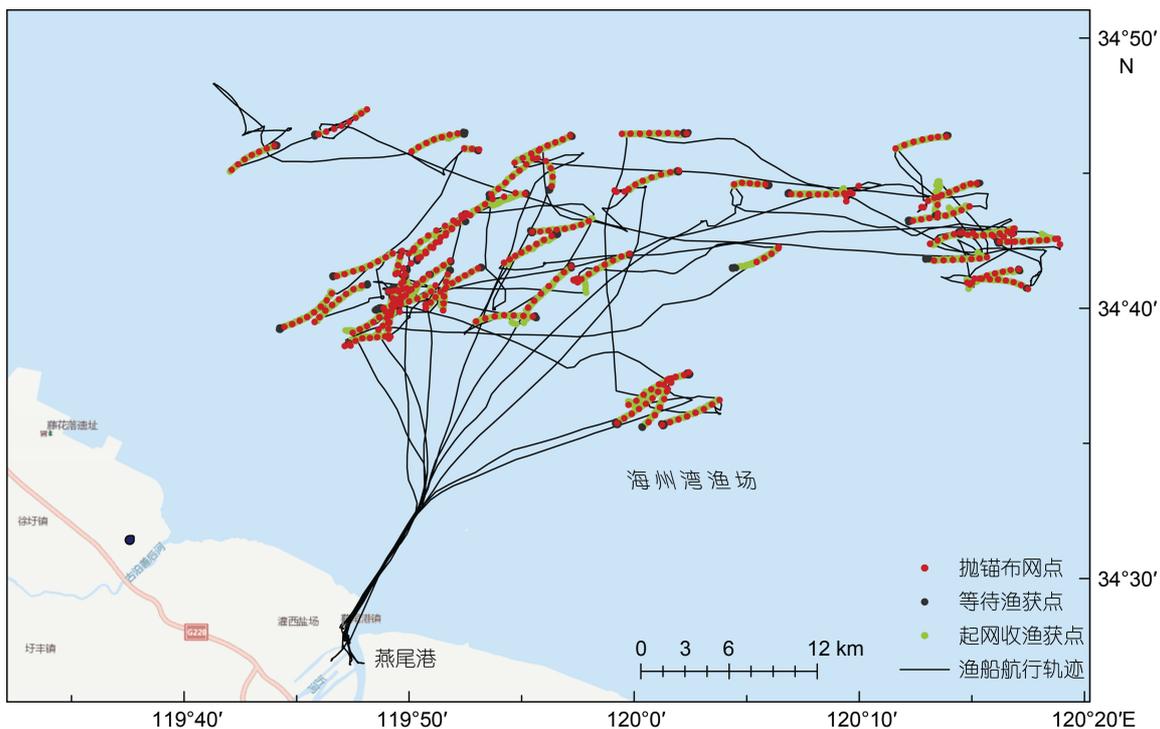


图 2 毛虾网船 111 航行轨迹及作业状态

Fig.2 The voyage trajectories and fishing status of the fishing vessel No.111

经数据库查询提取所有渔船捕捞作业各个状态点集后, 采用平均中心算法对处于抛锚布网状态的点集经纬度进行计算, 处理得到的坐标位置为该网次的网位。毛虾网船各网次捕捞时长为该网次第一个起网收渔获点定位时间与第一个抛锚布网定位时间的差值, 结果表明, 82.4%网次捕捞时长为 1.5—3.5 h (图 3)。

### 2.3 捕捞努力量提取

通过式(2)、式(3)计算得到 62 艘毛虾网船总捕捞时长为 4413.73 h, 总捕捞努力量为 108106343  $m^2 \cdot h$ 。不同渔船不同网次捕捞努力量数值上差异明显, 最小值为 2246  $m^2 \cdot h$ , 最大值为 173283  $m^2 \cdot h$ , 平均捕捞努力量为 55667  $m^2 \cdot h$ 。

### 2.4 毛虾捕捞产量计算

鉴于限额捕捞制度对渔船功率、网具数量、网目尺寸都有严格规定, 这里渔船性能参数不作为影响渔获量的指标。因此, 将毛虾限额捕捞入渔船只的渔获量水平分为高、中、低 3 个层次, 分别从 3 个水平中选取 1 艘船作为样本船。本文依据 3 艘样本渔船的总产量数据及捕捞努力量数据(表 2), 计算出单位捕捞努力量渔获量, 并与 62 艘船总捕捞努力量相乘, 最终得到 62 艘毛虾网船捕捞总产量计算值约为 2328 t, 比其实际总捕捞产量 2067 t 高出 12.6%。通过对所有网次的毛虾捕捞产量进行核密度分析, 得到其产量空间分布如图 4 所示, 毛虾资源在空间上呈现多核心分布模式, 主要集中在 A、B、C 区域附近。

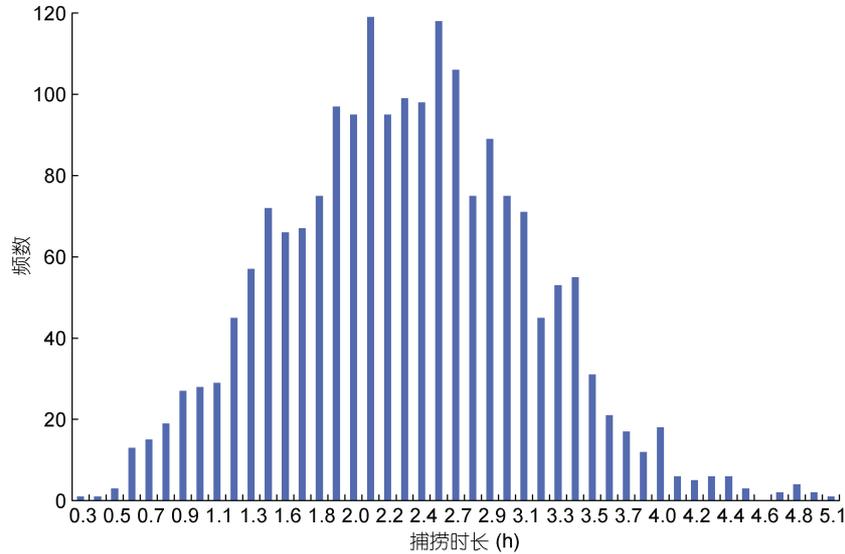


图3 62艘渔船各网次捕捞时长频数分布

Fig.3 The frequency distribution of fishing time per net of 62 fishing vessels

表2 样本渔船捕捞努力量及毛虾产量情况  
Tab.2 The fishing effort and catches of the fishing vessel samples

样本	捕捞努力量(m <sup>2</sup> ·h)	毛虾产量(kg)
渔船1	3 346 784	74 360
渔船2	2 399 683	51 760
渔船3	1 572 099	31 480
合计	7 318 566	157 600

### 3 讨论

毛虾网船属张网类作业,本研究毛虾网船各阶段及状态的划分,是依据渔船作业习惯使用人工经验进行划分。毛虾网船1个完整的航次包含渔港出发、捕捞作业、停航休息、转场探寻以及返回渔港等5个阶段,包含了快速航行、抛锚布网、等待渔获、起网收渔获以及停航休息等5种船位点状态。然而不同网具类型的船位点状态识别时参考的要素不同,我国学者张胜茂等(2016a)在识别拖网船位点状态时主要参考航速及航向信息;裴凯洋等(2021)依据航速、航向、向量偏转角及距离变化信息判断张网船位点状态。本文毛虾网在网具结构上及作业方式上与其他张网类(如帆张网、近岸小型定置张网等)存在较大差异,是毛虾捕捞专属网具。由于毛虾网船航行捕捞作业中各个阶段状态之间航速、作业时间以及持续时长存在明显的差异,因此主要依据以上3个要素进行多参数考量从而结合相关算法语句进行船位点状态的识别。加之,对毛虾网船的海上实际作业情况验证发现渔船在低航速状态下航向数据均会随海流发生

较大变化,因此航向数据不能作为毛虾网船状态识别的参考要素。渔船在海域中的航速、航向均会受到海流情况、天气情况等其他因素的影响,因此快速航行过程中会出现的部分零速及低速的特殊船位点,需进行剔除。而基于渔船航行轨迹与渔港对外设置缓冲线叠加提取航次方法的准确性取决于卫星获取渔船船位数据时空分辨率的高低。提取不同捕捞方式渔船航次所需设定的沿岸缓冲线距离不同。张胜茂等(2016b)提取拖网航次时对中国海岸线向外设置3 nmile缓冲线,使其包含附近的岛屿及港口,同时确保该缓冲线处于机动渔船底拖网禁渔区线之内。本研究采用高精度北斗船位数据提取渔船航次能为毛虾渔业管理监控提供精准的数据参考,以指定的渔获物上岸渔港“燕尾港”及附近海岸线向外设置1 nmile缓冲线距离,使其处在限额捕捞边界线与“燕尾港”附近海岸线之间。因此,不同捕捞方式渔船航次的提取,港口附近海岸线向外缓冲距离的设定需确保缓冲后的线在该区域沿岸港口与可捕渔区线之间。

目前学者在量化不同类型渔船的捕捞努力量时,采用的计算方式不同,如拖网渔船采用累计捕捞时间与渔船功率的乘积作为捕捞努力量(张胜茂等,2014);张网渔船采用固定网口数对应的网具迎流面积与捕捞时长的乘积作为捕捞努力量(裴凯洋等,2021)。实际上,张网渔船在进行捕捞作业过程中,不同网次布网的网具数量实际上会随着渔民对区域资源量预估、潮汐状况及时间的变化而变化,那么采用固定网口数或网长的网具迎流面积计算捕捞努力量

会产生较大偏差。本研究在以往张网 VMS 数据提取分析上改进优化, 精确到各网次实际布网的网具数量及有效布网网长: 通过计算毛虾网各网次最后一个布网点与第一个布网点的实际布网距离; 再以布置全部网具所产生的距离及其对应有效布网网长之间的相关关系进行转换, 即可得到该网次的有效布网网长; 最后依据式 3 计算得到该网次的捕捞努力量。此基于北斗船位数据提取各网次实际有效布网网长方法可应用于张网类有效布网网长及捕捞努力量统计纠偏。

近年来, 随着海洋生态文明建设的持续推进, 渔业限额捕捞制度逐渐提上日程。限额捕捞制度中总许可渔获量(TAC)的设定依据主要为现有资源量及渔业生产监测情况。因此, 获取准确的渔业资源数据与生产监测数据是实施限额捕捞制度的关键。然而目前我国渔捞日志、捕捞努力量及渔获量数据主要依据人工记录, 导致生产监测数据存在延时及准确性差等不足。渔船监控系统快速发展, 加之北斗 VMS 数据所具备的实时性强、全天候、自动化获取等优势, 使得

VMS 数据将有效服务于渔业精细化管理, 成为限额捕捞制度实施的重要支撑。目前, 我国已在多个省份实施海洋渔业单品种限额捕捞试点, 如梭子蟹、丁香鱼、海蜇、毛虾等。其中, 毛虾兼具经济价值高、汛期相对固定、海上运输时间短、渔获定点上岸易控制、加工链稳定、产品输出渠道单一等鲜明特点, 可作为限额捕捞的成功模式加以推行。本文基于北斗 VMS 数据采用核密度分析法提取到毛虾网船捕捞产量空间分布情况(图 4), 可见渔船捕捞毛虾资源空间分布主要呈现多核心分布模式。在不同捕捞网次作业时, 渔民以获取最大毛虾渔获量为原则, 通过探鱼器和测深仪获取毛虾分布数据, 确定下一网次位置。主要继而可探究毛虾资源分布与海水温度、盐度及潮流之间的关联性及其输送机制, 也可通过叠加全国所有毛虾网船捕捞努力量及产量时空分布数据及环境调查数据, 建立毛虾资源数据分析系统, 掌握毛虾渔场时空变化规律和资源量变化, 为后续毛虾单品种捕捞限额设定提供更为精准的评估, 并为全国其他省份毛虾限额捕捞试点实施提供参考。

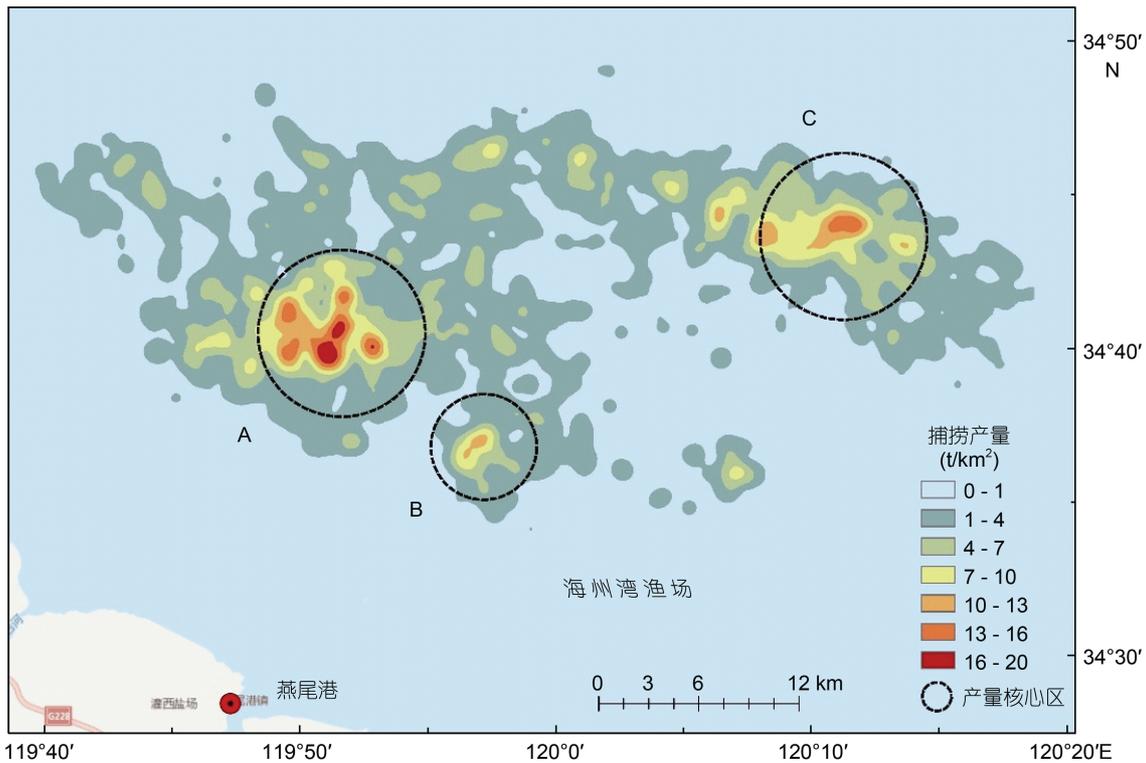


图 4 62 艘毛虾网船捕捞产量空间分布

Fig.4 Spatial distribution of fishing yield from 62 fishing vessels

本文利用样本船捕捞产量推算出毛虾单位捕捞努力量渔获量, 计算 62 艘渔船的捕捞产量值比实际产量值高 12.6%, 偏高的原因可能与作业渔船渔捞日

志上报的毛虾渔获量数据偏低有关。目前我国在限额捕捞制度实施监管方面主要依据与渔获物定点上岸、观察员上船、渔民记录渔捞日志等配套制度执行; 然

而,我国渔船数量众多,仅靠观察员上船及渔民记录上报捕捞情况进行监管,造成观察覆盖不到位、渔民上报不及时甚至作假等现象频出,难以达到监管效果。那么,加强渔业捕捞监管系统的建设,充分利用北斗船位监控系统平台,借助 VMS 大数据定位作用监测限额捕捞许可渔船的航行轨迹是否在许可作业海域、渔船作业方式和投网数量是否符合要求、渔获物是否定点上岸,并与后期产品溯源进行无缝链接,将成为限额捕捞制度持续顺利推进的重要保障。

#### 4 结论

本研究以中国毛虾限额捕捞管理为例,提出基于北斗船位数据提取航次、网次、网位及捕捞时长信息用于计算海洋捕捞努力量的方法,计算了限额捕捞期间毛虾渔获总量,并与生产上报产量进行对比,形成了 VMS 数据在限额捕捞试点的直接应用。该方法和思路一定程度上解决了我国渔船渔捞日志人工记录存在的效率低下及真实度欠缺等问题,为后期制定单品种限额捕捞总量和捕捞配额提供了科学依据。

#### 参 考 文 献

- 伍育红, 2015. 聚类算法综述. 计算机科学, 42(S1): 491—499, 524
- 汤先峰, 张胜茂, 樊伟等, 2020. 基于北斗船位数据的江苏渔船航次分析. 渔业现代化, 47(1): 63—71
- 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会, 2006. 2006 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 10
- 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会, 2019. 2019 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 38
- 张荣瀚, 张胜茂, 陈雪忠等, 2019. 基于北斗船位数据的流刺网网次和方向提取方法研究. 海洋渔业, 41(2): 169—178
- 张胜茂, 杨胜龙, 戴阳等, 2014. 北斗船位数据提取拖网捕捞努力量算法研究. 水产学报, 38(8): 1190—1199
- 张胜茂, 张衡, 唐峰华等, 2016a. 基于船位监控系统的拖网捕捞努力量提取方法研究. 海洋科学, 40(3): 146—153
- 张胜茂, 唐峰华, 靳少非等, 2015a. 基于北斗卫星数据的拖网渔船状态与网次提取. 渔业信息与战略, 30(3): 205—211
- 张胜茂, 程田飞, 王晓璇等, 2016b. 基于北斗卫星船位数据提取拖网航次方法研究. 上海海洋大学学报, 25(1): 135—141
- 张胜茂, 程田飞, 化成君等, 2015b. 北斗卫星数据提取耙刺渔船作业状态方法研究. 渔业信息与战略, 30(4): 293—300
- 张胜茂, 樊伟, 张衡等, 2018. 基于北斗船位数据的海南省渔船航次动态监测与分析. 南方水产科学, 14(5): 1—10
- 陈静娜, 朱文斌, 2018. 我国实施捕捞限额制度的困境与对策研究——以浙北渔场梭子蟹捕捞限额试点为例. 浙江海洋大学学报(人文科学版), 35(5): 8—14
- 罗丹, 毛先成, 邓浩, 2017. 一种基于密度峰值的半监督聚类算法. 地理与地理信息科学, 33(2): 69—74
- 季民, 靳奉祥, 李云岭等, 2005. 远洋渔船动态监控系统研究. 测绘科学, 30(5): 92—94
- 原作辉, 张胜茂, 樊伟, 2020. 基于 DBSCAN 的 VMS 数据定置刺网渔船网次提取方法. 上海海洋大学学报, 29(1): 121—127
- 唐议, 赵丽华, 2020. 我国海洋渔业捕捞限额制度试点实施评析与完善建议. 水产学报, doi: 10.11964/jfc.20200212148
- 裴凯洋, 张胜茂, 樊伟等, 2021. 基于 VMS 的张网渔船捕捞努力量与网位坐标提取方法. 上海海洋大学学报, 30(1): 179—188
- Ester M, Kriegel H P, Sander J *et al*, 1996. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Portland, Oregon: ACM, 226—231
- Lee J, South A B, Jennings S, 2010. Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system (VMS) data. ICES Journal of Marine Science, 67(6): 1260—1271
- Vermard Y, Rivot E, Mahevas S *et al*, 2010. Identifying fishing trip behaviour and estimating fishing effort from VMS data using Bayesian Hidden Markov Models. Ecological Modelling, 221(15): 1757—1769
- Wang X X, Zheng Q L, Zhang S M, 2016. Research of voyage extraction based on beidou vessel monitoring system data. In: Proceedings of 2015 23rd International Conference on Geoinformatics. Wuhan: IEEE, 1—5
- Wang Y, Wang Y B, Zheng J, 2015. Analyses of trawling track and fishing activity based on the data of vessel monitoring system (VMS): a case study of the single otter trawl vessels in the Zhoushan fishing ground. Journal of Ocean University of China, 14(1): 89—96
- Zhang S M, Yu B L, Zheng Q L *et al*, 2016. Algorithm of trawler fishing effort extraction based on BeiDou vessel monitoring system data. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem. Berlin: Springer, 159—168

## INTERPRETATION AND APPLICATION OF FISHERY INFORMATION BASED ON BEIDOU POSITION DATA: A CASE STUDY OF TACS PILOT PROJECT OF *ACETES CHINENSIS*

LI Guo-Dong<sup>1,2</sup>, ZHONG Xia-Ming<sup>2</sup>, XIONG Ying<sup>2</sup>, GONG Hai-Xiang<sup>3</sup>,  
TANG Jian-Hua<sup>2</sup>, SHI Jin-Jin<sup>2</sup>, WU Lei<sup>2</sup>

(1. College of Marine Sciences of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Jiangsu Marine Fisheries Research Institute, Nantong 226007, China; 3. Guanyun Agricultural and Rural Bureau, Guanyun 222200, China)

**Abstract** China has successfully launched fisheries TACs (total allowable catch system) pilot project of *Acetes chinensis* in coastal waters of Lianyungang, Jiangsu, East China from June 15 to July 15 in 2020. A total of 421700 VMS (vessel monitoring system) data of Beidou satellite navigation from 62 stow net vessels during fishing period were used. The data including the time, position, speed, direction etc., were mined and proceed for the extraction of fishing effort by buffer overlay analysis, the DBSCAN (Density-based Spatial Clustering of Application with Noise) algorithm, the mean center algorithm, kernel density estimation, and database querying. The results show that the stow net vessels performed 239 voyages with 1942 nets, the total fishing time was 4413.73 h, and the total fishing effort was 108106343 m<sup>2</sup>·h. The calculated yield was 2328 t, which is 12.6% higher than the reported yield. The fishing status was recognized and divided into five phases (cruising, casting, waiting, hauling, and suspending). The fishing routes of catching *A. chinensis* were strait lines, and the spatial distribution of fishing yield with stow nets featured multiple-centered pattern. At present, challenges remain in the implementation of TACs in China for targeted species stock survey and fishing log management. The method of interpreting the fishing behaviors, the extraction methods of voyages, nets, positions, and fishing effort, and the method of yield calculation in this study provided an effective way to implement TACs projects in fishery.

**Key words** vessel monitoring system; *Acetes chinensis* stow net; fishing effort; yield calculation; total allowable catch system