

渤海黄海域渔船碳排放特征

鲁 峰^{1,2}, 徐 硕^{1,2*}, 李 丹¹, 刘慧媛¹, 朱 勇¹, 崔国辉¹

(1. 中国水产科学研究院渔业工程研究所, 北京 100141; 2. 崂山实验室, 青岛 266237)

摘 要: 渔船二氧化碳排放是全球温室气体排放评估中通常被忽视的领域, 对全球变暖过程具有不可忽略的驱动作用。渤海黄海域是中国重要的海上粮仓和生态环境治理区域, 查明渤海黄海域渔船生产作业过程对温室气体排放贡献较大的环节, 对区域碳循环研究、碳排放管理及减排降碳措施制定具有重要意义。为探明渤海黄海域海洋渔船二氧化碳排放的时空变化特征, 揭示渔业生产活动对气候变暖的影响程度, 该研究基于 2020 和 2021 年的海量渔船管理及动态船位数据, 提取了航段位移、航段内渔船航速、发动机负荷因子、排放因子等状态参数, 构建了渔船二氧化碳排放动态计算模型, 分析了渤海黄海域 9 种作业类型渔船的二氧化碳排放强度, 给出了渔船年度及月度排放的空间分布特征。结果表明: 1) 渤海黄海域各类机动渔船在 2020 和 2021 年的二氧化碳排放总量分别为 450 万和 945 万 t, 总体呈现出近岸低、外海高的分布特征, 热点区域主要分布在渤海湾渔场、滦河口渔场、海东渔场、烟威渔场、石岛渔场、石东渔场、海州湾渔场及大沙渔场。2) 拖网和刺网渔船是二氧化碳年度累计排放的主要贡献者, 但就单船单位航行时长二氧化碳排放量而言, 辅助船最高, 围网渔船次之。3) 不同年份相同月份的渔船二氧化碳排放空间分布呈现出一定的相似性, 伏季休渔期开始前强碳源主要出现在黄海中南部区域, 休渔期结束后强碳源主要出现渤海中部、山东半岛东部以及黄海中南部海域一带, 年度内渔船二氧化碳排放重心总体上是由沿岸海域向中部开阔海域方向扩散。该研究通过渔船动静态异质数据推演二氧化碳的时空变化, 对评估渔业生产所引起的气候效应具有理论指导作用。

关键词: 二氧化碳排放; 捕捞渔船; 数据挖掘; 温室气体; 气候变暖

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.24.019

中图分类号: S975

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-24-0169-11

鲁峰, 徐硕, 李丹, 等. 渤海黄海域渔船碳排放特征[J]. 农业工程学报, 2022, 38(24): 169-179. doi:

10.11975/j.issn.1002-6819.2022.24.019 <http://www.tcsae.org>

Lu Feng, Xu Shuo, Li Dan, et al. Carbon emissions from fishing vessels in the Bohai Sea and Yellow Sea[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(24): 169-179. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.24.019 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

工业化以来, 人类生产和生活所排放的各类温室气体, 特别是化石燃料燃烧产生的二氧化碳, 使得大气层中的温室气体浓度逐渐上升, 由此导致的气候变化打破了地球固有的内在平衡, 已严重威胁到了全球生态系统、人类健康以及世界经济发展^[1-2]。农业生产过程所排放的温室气体, 已成为全球变暖的一个重要且不断增长的驱动因素^[3-5]。海洋渔业作为中国农业的重要组成部分, 是水产品供给的重要来源^[6], 其对气候变化的影响主要来自渔船柴油燃烧产生的二氧化碳等温室气体^[7], 中国是海洋渔业大国, 截至 2020 年已拥有作业频次高、活动区域广、污染排放大的各类捕捞机动渔船 52 万余艘^[8], 约占全球渔船总数的 12%。通过开展渔船二氧化碳排放评估研究, 建立高分辨精准化的渔船碳排放计算方法, 将有助于准

确把握渔业生产所带来的气候变化影响, 对遏制全球变暖进程、制定渔业碳排放控制措施以及保护海洋生态环境等具有重要的指导意义, 同时为中国实现“碳达峰”“碳中和”等目标提供渔业领域的量化参考依据。

船舶动态监控系统能够提供船舶位置、航速、航向、功率等信息^[9], 已被证实是计算船舶二氧化碳排放的一种行之有效的工具^[10-12]。Parker 等^[13]基于船舶能源消耗数据估算了 1990—2011 年全球渔业船队的燃料投入和温室气体排放值, 计算显示 2011 年全球海洋渔船共消耗了 400 亿升燃料, 产生了 1.79 亿 t 二氧化碳当量的温室气体, 占全球食物生产排放量的 4%。Weng 等^[14]基于船舶动态位置数据建立了碳排放计算模型, 用于估算 2014 年长江口通行船舶碳排放的分布特征, 结果表明船舶二氧化碳排放共 181.8 万 t^[15], 存在显著的时空差异性。Moreno-Gutiérrez 等基于船舶航行实时功率数据, 构建了基于能源消耗效率的碳排放计算模型, 并针对四艘在直布罗陀海峡上作业的船舶进行了测试验证, 结果表明每消耗 1 g 燃油最大可排放 6 384 g 的二氧化碳。Kramel 等^[16]基于 45 891 艘运输船的技术规格参数和动态船位信息, 同时考虑了风和海浪对船舶性能的影响, 构建了海上船舶运输环境评估模型, 计算出 2017 年全球运输船的二氧化碳排放量为 9.43 亿 t, 且燃料类型、天气因素和交通繁忙状

收稿日期: 2022-08-31 修订日期: 2022-12-08

基金项目: 崂山实验室科技创新项目 (LSKJ202201800); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2023HY-ZC004)

作者简介: 鲁峰, 副研究员, 研究方向为渔业大数据挖掘。

Email: lufeng@cafs.ac.cn

*通信作者: 徐硕, 副研究员, 研究方向为计算机应用。

Email: xushu@cafs.ac.cn

况是影响排放热点分布的主要因素。Wang 等^[17]利用单条船舶轨迹数据及深度学习算法来预测船舶二氧化碳排放,该模型对于船舶时空数据分析具有较好的预测性能。Sun 等^[18]利用回归、支持向量机、梯度提升和神经网络四种方法来预测船舶碳排放量,结果表明梯度提升算法表现出最好的预测性能。王征等^[19]基于船舶位置及航速等数据,采用动力法计算了 2014 年中国近海区域商船的碳排放情况,结果表明商船活动一年产生的二氧化碳排放总量约为 5 384.82 万 t,排放密集区主要集中在港口区域。陈伟杰等^[20]基于渔船历史轨迹数据和船舶档案数据,利用船舶运输排放评估模型计算了中国 11 个港口共计 4 280 艘集装箱船的碳排放情况,结果显示 2018 年集装箱船二氧化碳排放共计 213.35 万 t,船舶靠港锚泊过程中的二氧化碳排放占比较高,占总碳排放量的 65.8%。Fan 等^[21]针对不同类型的船舶燃料消耗模型,分析了其优缺点和提高精度的方法,可为船舶能效提升和碳排放预测研究提供参考。邱浩等^[22]利用船舶监测系统分析了东海沿岸船舶排放的分布特征,并指出船舶碳排放与船舶航速具有显著的相关性。汪承杰等^[23]基于船舶自动识别系统监测数据,采用基于功率的动力法估算出 2018 年大连海域客船、散货船、油船等船舶共排放了 254.63 万 t 二氧化碳,且客船、散货船、油船和多用途船的排放占比较大。Zhou 等^[24]提出了一种内河船舶水平航行排放模型,分析了长江中下游内河船舶的排放特性及影响因素。

综上所述,诸多学者针对商船、客船、运输船等船舶建立了碳排放计算模型,用于评估船舶的二氧化碳排放量及分布特征。然而,由于数据规模限制,目前在船舶温室气体排放评估研究中,鲜有学者针对渔船碳排放分布情况开展精细化的建模与定量评估计算。因此,本文根据渔船活动轨迹、航行速度、发动机载荷以及燃料消耗等因素的变化情况,构建渔船二氧化碳排放精细化计算模型,进而评估渤海区域活动渔船的二氧化碳排放强度与时空分布特征,给出渔业碳排放量在全球各行业中所占据的份额,以期向绿色低碳转型提供理论计算依据,从而实现渔业“知碳、管碳、降碳”的完整闭环。

1 数据与方法

1.1 数据来源与处理

渤海北起辽东湾,南至长江口,联通环渤海城市群和山东半岛城市群,是中国重要的海洋区域,同时也是中国传统的海上粮仓,广布各类机动渔船。本文使用的渤海区域渔船动态船位数据来自全国渔船渔港动态监控管理系统异地容灾备份中心(www.vmscenter.com),数据时间跨度为 2020 年 1 月 1 日至 2022 年 1 月 1 日,空间范围选定 117.5°~127.5°E、31°~41°N 的渤海和黄海区域,共包含 1 580 506 917 条动态渔船位置数据,平均报位时间间隔为 3 min。渔船静态基础数据来自中国渔政管理指挥系统(www.yyyzgl.moa.gov.cn/cnfai),系统在渤海区域收录的渔船数量共计 47 375 艘,渔业船舶类型及数量如表 1 所示。其中未知作业类型是由于系统中

缺失属性信息,无法按照作业类型进行统计。其他类型渔业船舶包括耙刺、陷阱、笼壶、敷网、掩罩、抄网、地拉网及渔政船等,由于数量极少故一并统计。渔船动态船位数据记录包括船名、MMSI 编码(渔船水上移动通信业务标识码)、经度、纬度、航速、航向、时间等属性,渔船基础静态数据记录包括船名、MMSI 编码、主机功率、作业类型、最大航速、所属省份等属性。利用 MMSI 编码将渔船动态数据集与静态数据集进行匹配与重构,形成可供计算直接使用的输入数据集。对于系统中存在部分数据项缺失的情况,需要查询底层数据库进行补全。

表 1 渤海区域渔船类型及数量

Table 1 Type and quantity of fishing vessels in the Bohai Sea and Yellow Sea

| 作业类型 Operation type | 活跃渔船总数 Total number of vessels/艘 | |
|---------------------------------|----------------------------------|--------|
| | 2020 年 | 2021 年 |
| 拖网渔船 Trawler fishing vessel | 5 577 | 6 986 |
| 刺网渔船 Gillnet fishing vessel | 5 101 | 11 875 |
| 张网渔船 Stow net fishing vessel | 418 | 1 619 |
| 围网渔船 Purse seine fishing vessel | 178 | 282 |
| 钓具渔船 Line fishing vessel | 67 | 581 |
| 辅助船 Fishery auxiliary vessel | 577 | 1 505 |
| 养殖船 Aquaculture fishing vessel | 695 | 11 063 |
| 未知类型渔船 Unknown type | 2 822 | 5 357 |
| 其他类型渔船 Other types | 233 | 358 |

1.2 基于渔船轨迹的碳排放计算模型

渔船动态轨迹数据是通过渔船运动过程进行连续报位采样所获得的数据,是基于时间和空间的渔船位置点序列。当渔船处于活动状态时,主推进发动机、辅助发动机和锅炉进入工作状态,由于锅炉能耗较小,且数据较难获取,本文暂不考虑锅炉的碳排放量,仅考虑主机和辅机的碳排放量。图 1 为基于单艘渔船轨迹数据的碳排放计算示意图。假设第 i 条渔船在某一时间段的报位点序列为 $(P_{i,0}, P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,j}, \dots, P_{i,m_i})$, 共计 m_i+1 个航段,将第 i 艘渔船在第 j 个航段(即从位置 $P_{i,j-1}$ 运动到 $P_{i,j}$)的碳排放量记为 $e_{i,j}$,则 $e_{i,j}$ 可表示为功率、平均速度和航行时间的函数^[25],第 i 渔船主机和辅机在航段 j 的碳排放量 $e'_{i,j}$ 和 $e''_{i,j}$ 可采用下式计算

$$e'_{i,j} = p'_i L_{i,a} t_{i,j} F'_i A'_i \quad (1)$$

$$e''_{i,j} = p''_i L_{i,b} t_{i,j} F''_i A''_i \quad (2)$$

式中 p'_i 和 p''_i 分别为第 i 艘渔船主机和辅机的功率, W (可通过中国渔政管理指挥系统中查询得到); $L_{i,a}$ 和 $L_{i,b}$ 分别为第 i 艘渔船主机和辅机的负荷因子; $t_{i,j}$ 为第 i 艘渔船在第 j 个航段的航行时间, h ; F'_i 和 F''_i 分别为第 i 艘渔船主机和辅机的排放因子; A'_i 和 A''_i 分别为第 i 艘渔船主机和辅机的排放因子修正系数。

渔船在航行过程中,若发动机负荷超过 20%,其排放因子可视为一定值,若发动机负荷不足 20%,由于发动机燃料燃烧效率降低,需引入修正系数对排放因子进行修正。具体计算过程中,主机修正因子 A'_i 取值可根据文献[26]进行动态调整,渔船配备的辅机一般运行载荷较高,故修正系数 A''_i 可取值为 1。主机负荷因子 $L_{i,a}$ 与渔

船航速的三次方成正比^[27], 可通过下式计算:

$$L_{i,j} = \left(\frac{v_{i,j}}{v_{\max}} \right)^3 \quad (3)$$

式中 v_{\max} 为渔船最大航速, m/s; $v_{i,j}$ 为第 i 艘渔船在第 j 个航段的平均速度, m/s。根据渔船轨迹序列, $v_{i,j}$ 和 $t_{i,j}$ 可表示如下

$$l_{i,j} = 2R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{x_{P_{i,j}} - x_{P_{i,j-1}}}{2} \right) \cdot \cos(y_{P_{i,j}}) \cdot \cos(y_{P_{i,j-1}}) + \sin^2 \left(\frac{y_{P_{i,j}} - y_{P_{i,j-1}}}{2} \right)} \right) \quad (6)$$

式中 R 为地球赤道半径, 即 6 378 km; $(x_{P_{i,j-1}}, y_{P_{i,j-1}})$ 和 $(x_{P_{i,j}}, y_{P_{i,j}})$ 分别为点 $P_{i,j-1}$ 和点 $P_{i,j}$ 的经纬度坐标。辅机负荷因子 $L_{i,b}$ 与渔船类型和航行状态密切相关, 在不同航行状态下负荷因子区别较大, 具体计算过程中, 可根据文献[29]进行动态调整。排放因子 F'_i 和 F''_i 可根据文献[30]进行确定。

由式 (1) ~ (6) 得到航段碳排放量 $e_{i,j}$ 的表达式为

$$e_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{v_{i,j}} \cdot \left[p'_i F'_i A'_i \left(\frac{v_{i,j}}{v_{\max}} \right)^3 + p''_i L_{i,b} F''_i A''_i \right] \quad (7)$$

对第 i 艘渔船在一段时间内的所有航段碳排放量进行相加, 即可得到该渔船在航行过程中的碳排放量, 如下式

$$E_i = \sum_{j=1}^{m_i} e_{i,j} \quad (8)$$

若渔船总数量为 n , 则研究区域内所有渔船在一段时间的碳排放总量 E 可表示为

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} e_{i,j} \quad (9)$$

将式 (7) 代入式 (9) 可得

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \left[p'_i F'_i A'_i \left(\frac{v_{i,j}}{v_{\max}} \right)^3 \frac{l_{i,j}}{v_{i,j}} + p''_i L_{i,b} F''_i A''_i \frac{l_{i,j}}{v_{i,j}} \right] \quad (10)$$

式 (10) 为计算全部渔船二氧化碳排放总量的最终计算式, 通过编制程序完成所有轨迹节点的计算, 图 1 给出了渔船碳排放计算模型示意图, 模型共包括数据预处理、渔船特性参数提取、渔船活动状态参数计算和排放结果输出四部分内容。数据预处理部分通过查询全国渔船渔港动态监控管理系统异地容灾备份中心的渔船动态船位数据库, 输出指定时间范围内所有渔船的动态船位数据元组, 同时输出所有活跃渔船清单, 数据元组包括经纬度坐标、船名、航速、航向、报位时间等属性。将渔船按照 MMSI 码进行分组, 使每一艘渔船对应一组船位数据, 并将该组船位数据按照时间顺序排列得到渔船轨迹。由于渔船动态船位数据库中缺少渔船基础参数信息, 故需结合中国渔政管理指挥系统的渔船静态基础数据库, 通过匹配两个数据库的 MMSI 码, 将功率、作业类型、最大航速等数据项映射到相应的渔船动态船位数据元组中, 制作所有活跃渔船的静态基础数据表作为计算输入数据集; 渔船特性参数提取部分通过逐行处理每艘渔船对应的船位数据, 将相邻的两条船位数据构成

$$v_{i,j} = \frac{v_{P_{i,j-1}} + v_{P_{i,j}}}{2} \quad (4)$$

$$t_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{v_{i,j}} \quad (5)$$

式中 $l_{i,j}$ 为航段出发位置点 $P_{i,j-1}$ 至航段到达位置点 $P_{i,j}$ 的地球表面距离, m。可通过经纬度坐标计算得到^[28], 如下式:

一个航段, 从而逐行提取计算所需的渔船动态及静态输入参数; 渔船活动状态参数计算部分利用输入参数, 依次计算航段位移、航段内渔船航速、发动机负荷因子、排放因子等状态参数; 排放结果输出部分首先通过式 (7) 依次计算所有航段的碳排放值, 将各航段碳排放值赋值给到达位置点坐标, 将轨迹起始点坐标得碳排放赋值为 0, 并按坐标生成全国近海渔船碳排放动态分布格局。然后通过式 (8) 计算每艘渔船轨迹对应的渔船碳排放分布。最后按照式 (10) 计算所有渔船对应的碳排放总体分布, 采用对研究区域进行网格划分的方法, 计算网格内渔船排放统计的时空分布特征, 进而识别各区域的渔船二氧化碳排放强度。

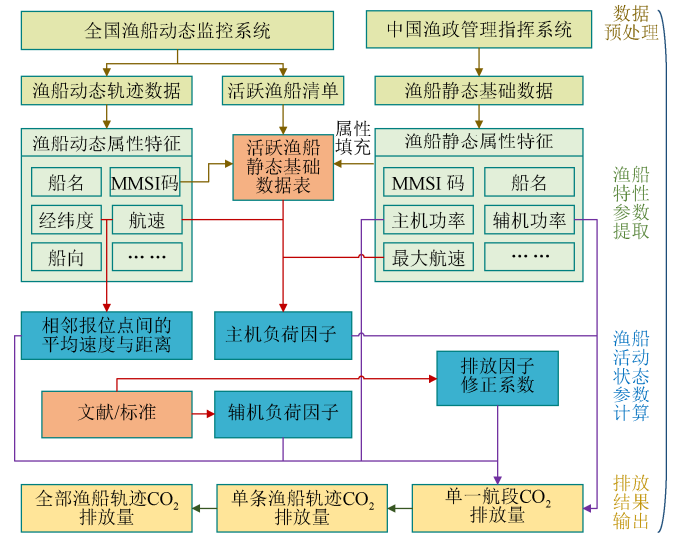


图 1 渔船二氧化碳排放计算模型

Fig.1 The carbon dioxide emission calculation model for fishing vessels

1.3 计算结果处理方法

采用网格插值方法对模型生成的计算结果文件进行二次处理, 通过将覆盖全部轨迹的渤海区域划分为 40×40 个精度为 $1/4^\circ$ 的正方形网格, 继而将计算得到的 1 324 066 173 条排放点数据叠加到网格中。定义网格矩阵为 $\text{Matrix}[a, b]$, 其中 a 和 b 分别为行号和列号。逐行读取计算结果文件数据, 提取经纬度坐标信息, 并根据式 (11) 计算该坐标对应的二维矩阵数组值, 从而将该坐标点映射到对应的网格中, 同时依次将每行数据的碳排放值叠加到对应的网格中去, 生成区域排放量网格数据, 实现区域渔船碳排放的精细化定量计算。

$$\text{Matrix} \left[\text{Round} \left(\frac{\text{lon}(x) - \text{lon}_{\min}}{h} \right), \text{Round} \left(\frac{\text{lat}(y) - \text{lat}_{\min}}{h} \right) \right] \\ = \sum_{x=1}^N \text{Emi}(x, y) \quad (11)$$

式中 $\text{lon}(x)$ 和 $\text{lat}(y)$ 分别表示坐标 (x, y) 对应的经度和纬度; $\text{Emi}(x, y)$ 表示坐标 (x, y) 对应的碳排放值; t ; $\text{Round}(x)$ 是小数进位取整函数; N 为网格总数量。

为对比呈现各类型渔船碳排放强度的差异, 对式 (10) 中的渔船碳排放总量数据进行归一化处理。针对不同作业类型的渔船, 通过式 (12) 计算得到每种作业类型渔船的总体二氧化碳排放量, 继而采用式 (13) 计算得到平均每艘渔船每天活动所产生的二氧化碳排放量 (即单位渔船的日均二氧化碳排放量)。

$$E_{n'} = \sum_{i=1}^{N_{n'}} \sum_{j=1}^{m_i} e_{i,j} \quad (12)$$

$$e_n = \frac{E_{n'}}{N_{n'} \cdot 365} \quad (13)$$

式中 E_n 为第 n' 种作业类型的渔船二氧化碳排放总量; t ; $e_{n'}$ 为第 n' 种作业类型的单位渔船日均二氧化碳排放量; t ; $N_{n'}$ 为第 n' 种作业类型渔船的数量, 艘。通过叠加不同作业类型渔船各轨迹航段的航行时间, 得到各类型渔船的航行总时长如式 (14) 所示, 同时采用式 (15) 对进行归一化处理得到各种作业类型的单位渔船日均航行时间。

$$T_{n'} = \sum_{i=1}^{N_{n'}} \sum_{j=1}^{m_i} t_{i,j} \quad (14)$$

$$t_n = \frac{T_{n'}}{N_{n'} \cdot 365} \quad (15)$$

式中 t_n 为第 n' 种作业类型的单位渔船日均航行时长, h ; $T_{n'}$ 为第 n' 种作业类型渔船的航行总时长, h 。则通过式 (16) 即可计算单位渔船在单位航行时间内的二氧化碳排放量 e_{avg} , 本文将式 (16) 作为评价各类型渔船二氧化碳排放能力的一项指标。

$$e_{\text{avg}} = \frac{e_n}{t_n} \quad (16)$$

2 结果与分析

2.1 渔船二氧化碳总体排放分布特征

通过对辽宁、河北、天津、山东及江苏五个沿海省份数据库所有船位数据进行遍历计算, 得到渤海黄海域各类机动渔船在 2020 和 2021 年的二氧化碳排放总量分别为 450 万 t 和 945 万 t。图 2 给出了 2020、2021 年渤海黄海域各类渔船二氧化碳累计总排放分布, 由图可见, 渔船二氧化碳排放空间几乎覆盖渤海黄绝大部分海域, 2020 年与 2021 年的高值区域分布表现出一定的相似性, 但各年的空间分布存在显著差异, 近岸二氧化碳排放值普遍低于外海, 呈现出近岸高值区分散、外海高值区密集的特点。计算结果表明, 2020 及 2021 年二氧化碳累计排放高值区主要分布于渤海湾、莱州湾、渤海中部、山

东半岛东部海域、山东省石岛南部海域、辽宁省丹东南部海域、海州湾至南黄海东南部一带海域。同时, 二氧化碳累计排放高的区域意味着渔船作业活动较为频繁, 因此根据渔船二氧化碳排放分布情况可以推断, 渤海黄海域渔船作业最活跃的渔场主要有渤海湾渔场、滦河口渔场、海东渔场、烟威渔场、石岛渔场、石东渔场、海州湾渔场及大沙渔场。根据 2020 及 2021 年全国海洋捕捞产量统计结果, 渤海黄海域的捕捞总产量分别为 2 870 797 和 2 885 616 t^[8], 由此可知, 2020 和 2021 年每捕捞 1 t 渔获物排出的二氧化碳量分别是 1.57 和 3.27 t。

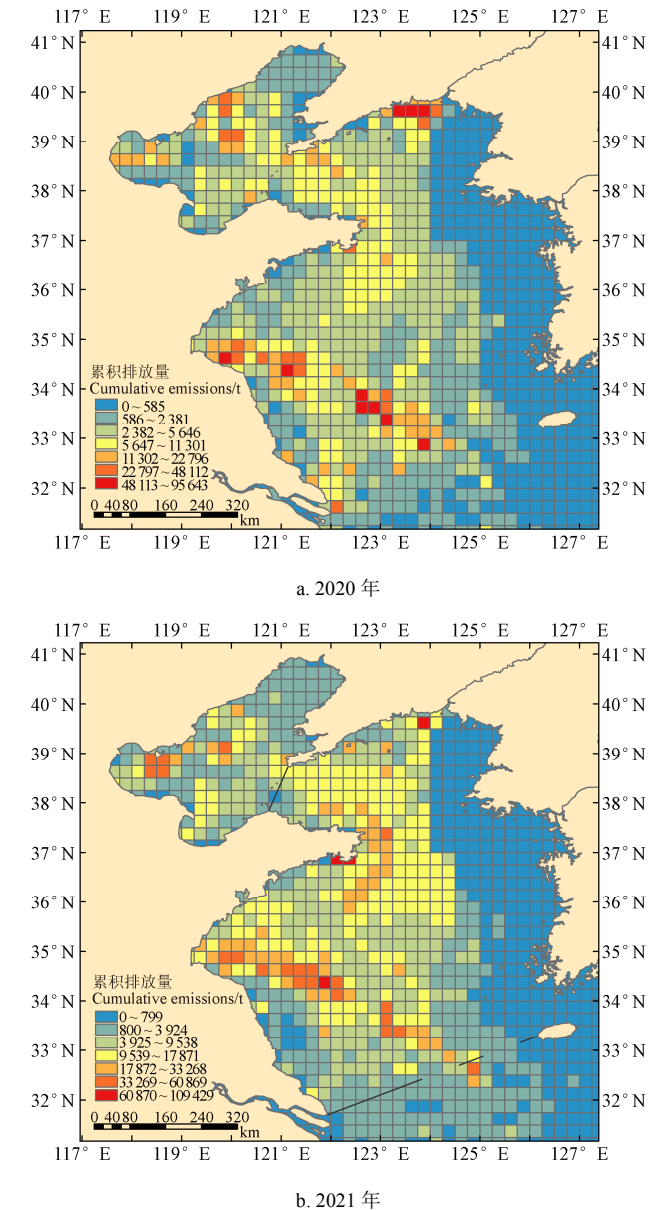


图 2 不同年份渤海黄海域渔船二氧化碳累计排放分布
Fig.2 Distribution of cumulative carbon dioxide emissions from fishing vessels in the Bohai Sea and Yellow Sea in different years

2.2 不同类型渔船的二氧化碳年度累计排放

针对 2020—2021 年渤海黄海域的渔船动态数据, 采用渔船轨迹碳排放计算模型得到不同维度渔船二氧化碳排放结果对比如图 3 所示。图 3a 分别给出了拖网渔船、刺网渔船、张网渔船、围网渔船、钓具渔船、养殖船、

辅助船、未知类型渔业船舶以及其他类型渔业船舶的年度总体二氧化碳排放量对比情况, 由图可知总排放量明显呈现四个量值梯队。拖网渔船和刺网渔船属于第一梯队 (2020 年分别为 158.69 万、168.11 万 t, 2021 年分别为 343.00 万、335.16 万 t), 且明显高于其余类型渔船的排放量, 约占据总排放量的 72%。张网渔船、辅助船和未知类型渔船属于第二梯队 (2020 年分别为 26.79 万、26.73 万和 53.63 万 t, 2021 年分别为 60.27 万、76.04 万和 74.70 万 t), 围网渔船、养殖船和其他类型渔船属于第三梯队 (2020 年分别为 3.46 万、5.47 万和 6.78 万 t, 2021 年分别为 17.47 万、15.45 万和 19.69 万 t), 钓具渔船属于第四梯队 (2020 年为 0.31 万 t, 2021 年为 3.2 万 t)。可见, 拖网和刺网两种作业类型是海洋机动渔船捕捞作业中二氧化碳排放的主要产生源, 占有渔业船舶排放总量的 70% 以上。为衡量渔船个体的二氧化碳排放情况, 采用式 (13) 计算得到单位渔船的日均二氧化碳排放量, 如图 3b 所示, 将数据按照每日进行均值化处理, 2020 年的单艘张网渔船及 2021 年的单艘围网渔船排放量反而最高, 超过了当年拖网和刺网渔船的日均排放量。考虑到渔船每日的航行状态并不连续, 图 3b 并不能准确反应渔船的排放能力, 因此需采用式 (14) 计算出各类型渔船的年度航行总时长, 并采用式 (15) 进一步计算得到单位渔船的日均航行时长, 如图 3c 和图 3d 所示。可知刺

网渔船的年度航行总时长最大, 拖网渔船次之, 两者约占据了所有渔船年度航行总时长的 70%, 同时受到疫情的影响, 2020 年所有渔船的航行总时长比 2021 年的少了一倍。将数据进行日均值化处理后可知, 各类型渔船的日均航行时长相差较大, 这说明航行时长是反应渔船排放能力不可忽略的一项重要因素。

图 3e 是根据表 1 绘制的各类型渔船数量对比图, 由于部分渔船在系统中缺少类型信息, 致使未知类型的渔船数量占据了一定的比例。根据式 (16) 得到单位渔船在单位航行时间内的二氧化碳排放量如图 3f 所示, 拖网和刺网虽然总排放高, 但经过归一化处理后, 各类型渔船二氧化碳排放能力大小排序为: 2020 年辅助船>围网渔船>张网渔船>钓具渔船>其他类型渔船>刺网渔船>拖网渔船>未知类型渔船>养殖船, 2021 年辅助船>围网渔船>其他类型渔船>张网渔船>拖网渔船>刺网渔船>未知类型渔船>钓具渔船>养殖船。值得注意的是, 刺网和拖网渔船的数量、二氧化碳总排放量及航行时长虽远超过其他类型渔船的相应数值, 但其二氧化碳排放能力尚不及辅助船排放能力的一半, 围网渔船排放能力仅次于辅助船居第二。拖网、刺网、张网、围网、辅助及未知类型渔船的 2020 及 2021 年单船单位航行时长二氧化碳排放量十分接近, 而钓具、养殖及其他类型渔船的相差较大。

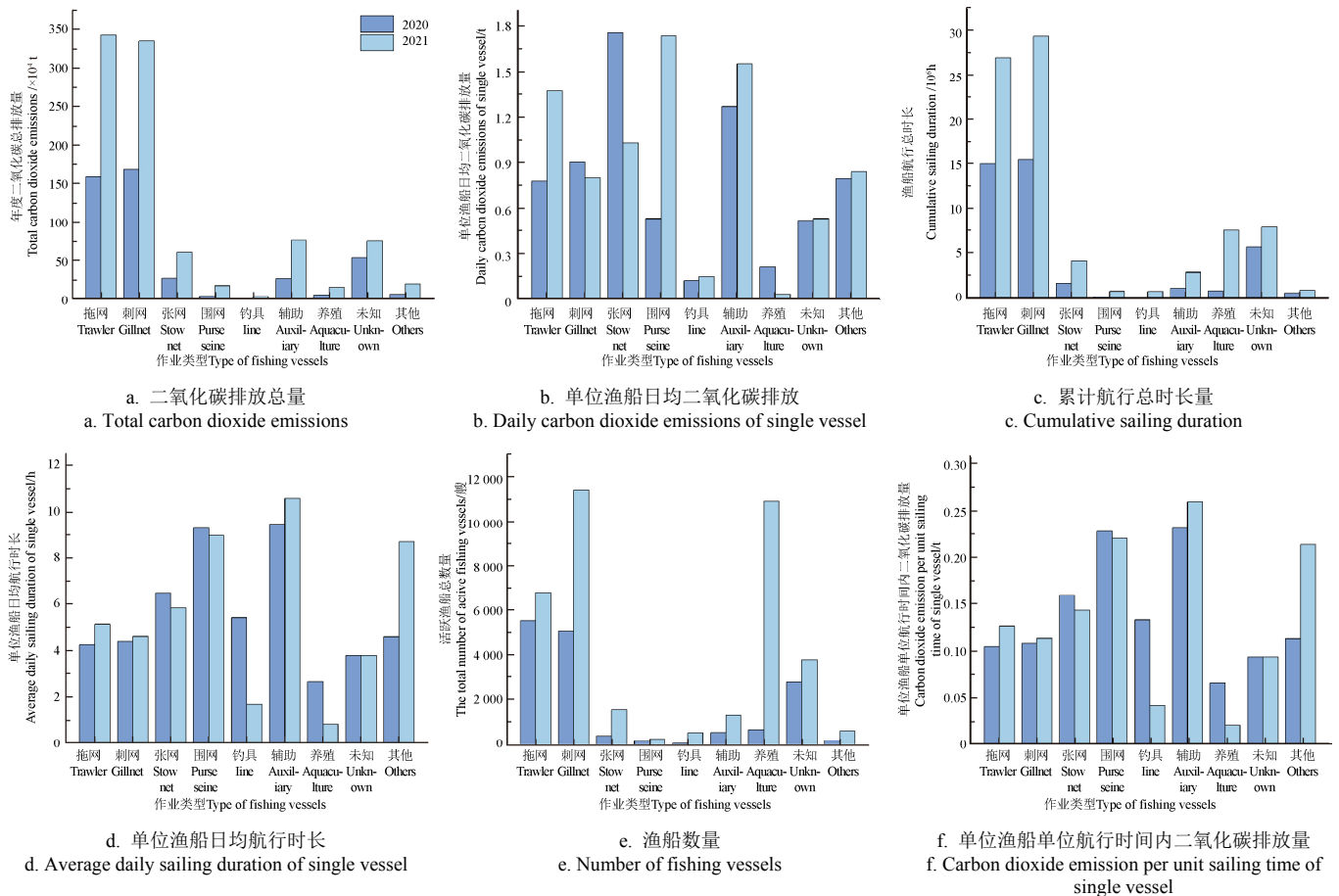


图 3 渤海区域不同年度不同类型渔船航行时间及二氧化碳排放

Fig.3 Sailing time and carbon dioxide emissions of different types of fishing vessels in Bohai and Yellow Sea in different years

2.3 不同类型渔船二氧化碳排放月际变化特征

针对计算程序生成的 2020—2021 年各类型渔船二氧化碳排放结果数据集,逐月汇总数据集中各轨迹点对应的排放值,得到的不同类型渔船的月度二氧化碳排放曲线如图 4 所示。由图可见,渔船的二氧化碳排放值在伏季休渔期开始前(1—4 月)、休渔期间(5—8 月)以及休渔期结束后(9—12 月)三个时间段表现出了明显的差异性。在 2020 年,除其他类型渔船的排放峰值出现在 3—4 月,其余所有类型的排放峰值均出现在 9—12 月。拖网渔船的排放峰值出现在 12 月,为 38.83 万 t,而刺网渔船的排放峰值出现在 10 月,为 31.83 万 t。在 2021 年,拖网渔船、

刺网渔船、围网渔船、钓具渔船、养殖船和其他类型渔船的排放峰值出现在 9—12 月,张网渔船、辅助船和未知作业类型渔船的排放峰值出现在 3—4 月出现峰值。拖网和刺网渔船均在 10 月份表现为强碳源,其中拖网渔船在 10 月的排放峰值仅次于刺网渔船,达 80.67 万 t,刺网渔船在 10 月的排放值最大,高达 83.92 万 t。拖网渔船和刺网渔船不同年份的变化趋势具有较强的一致性。渔船的二氧化碳排放强度与其活跃程度具有正相关性,由于受春节和伏季休渔制度的影响,所有类型渔船在 2 月及 5—8 月期间均呈现低值状态,而在 9—12 月期间活跃程度明显增强,仅此 4 个月的排放量就超过了全年的三分之二。

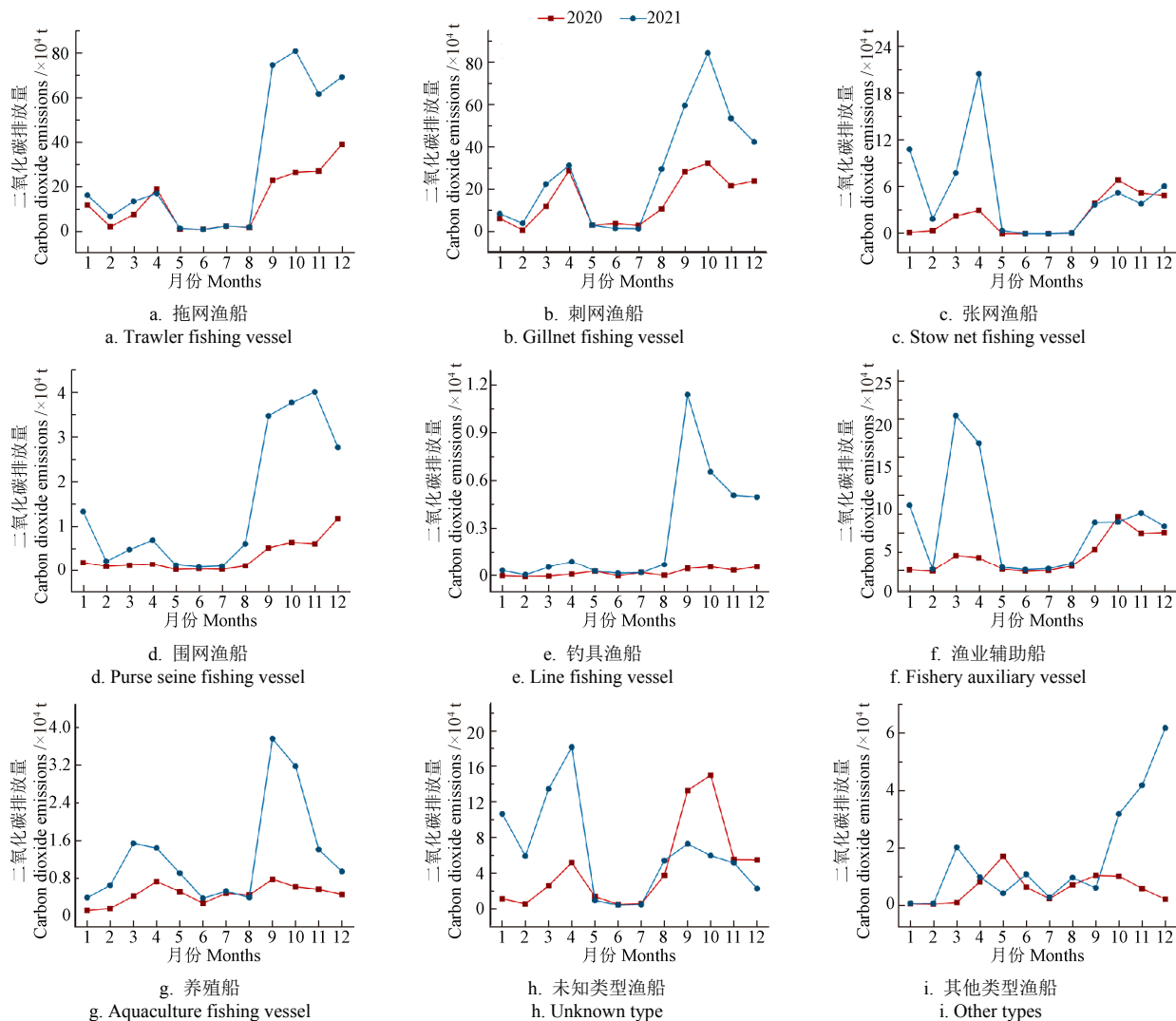


图 4 不同类型渔船月度二氧化碳排放曲线

Fig.4 Monthly carbon dioxide emission curves of different types of fishing vessels

图 5 给出了渤海区域 2020—2021 年各类型渔船在同一月份的二氧化碳排放值叠加结果,可见各年月度排放最高值均出现在 10 月,分别为 89.34 和 193.02 万 t。尽管受到新冠疫情的影响,2020 年各月度排放量相当于 2021 年的一半,但总体变化趋势呈现出较强的相似性,拖网和刺网渔船的排放量在各月中都占据较大的比重。不同年份不同月份的热点分布区域均存在一定差异,但总体上可划分为 1—4 月、5—8 月、9—12 月三个阶段。伏季休渔期结束后的排放强度明显高于开始

前,这可能是由于渤海区域在冬季和春季较低的气温影响了渔船的活跃程度。值得注意的是,26.5°N~35°N 黄海和东海海域的刺网休渔时间为 5 月 1 日至 8 月 1 日,而拖网等作业类型的休渔期限截至 9 月 16 日,故 8 月份刺网渔船结束休渔并恢复生产,其排放量在伏季休渔期间最高。可见,渔船二氧化碳排放分布格局的变动在很大程度上也反映了渔船活跃强度的变动特征,而引起这种变化的原因是多方面的,如渔场动态分布、船队作业习惯、海洋环境因素、管理政策因素以及气候变

化等。

考虑到渔船二氧化碳月度排放具有明显的“三阶段”特征，各阶段的热点分布均表现出一定的相似性，故选

取每年度 4 月、8 月、12 月作为各阶段代表，通过叠加排放结果数据集，绘制渔船二氧化碳月度累计排放分布图，如图 6 所示。

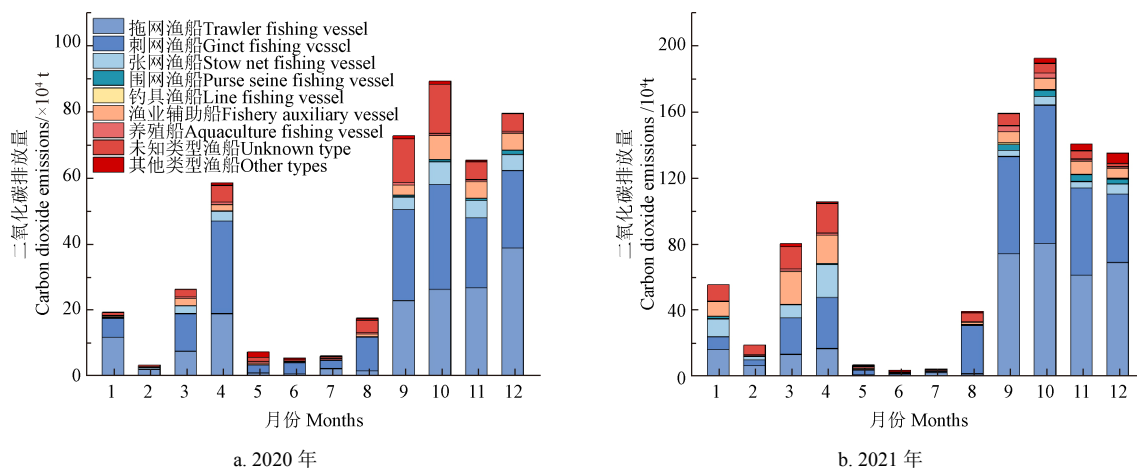


图 5 渤海区域渔船月度二氧化碳排放量对比

Fig.5 Comparison of monthly carbon dioxide emissions from fishing vessels in the Bohai Sea and Yellow Sea

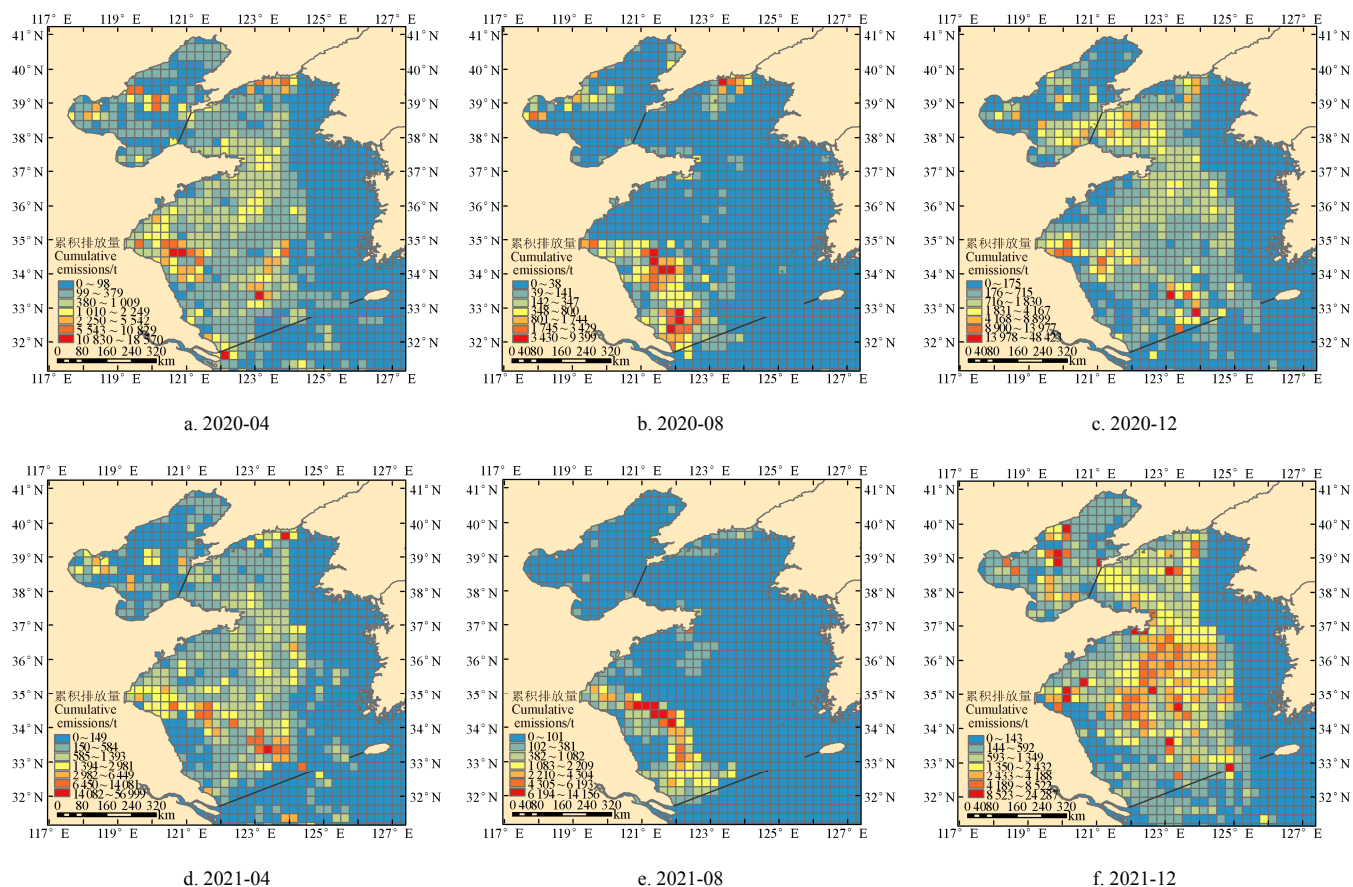


图 6 渤海区域 2020—2021 年渔船二氧化碳月际累计排放分布

Fig.6 Distribution of inter-monthly carbon dioxide emissions from fishing vessels in the Bohai Sea and Yellow Sea from 2020 to 2021

由图 6 可知，渔船月度二氧化碳排放分布呈现出明显的时空变化特征，同时也表现出一定的空间集聚特征。各年度 1—4 月的热点主要集中在黄海西南部区域，其中南黄海存在一条由海州湾向东南延伸至东海的带状高值区，而北黄海和渤海排放分布较为稀疏，这可能与冬季

和春季的气温较低有关。5—8 月进入伏季休渔期，大多数渔船被禁止出海作业，因此外海区域几乎无排放分布，直至 8 月刺网渔船结束休渔，其排放热点区域沿海州湾至南黄海西南部呈现弧形带状分布。9—12 月伏季休渔期结束，排放分布区域几乎覆盖渤海大部分海域，热点

区域呈现团块状聚集分布,渤海中部、山东半岛东部以及黄海中部海域一带表现为强碳源。总体上看,不同年份相同月份的排放分布情况及高值区分布情况呈现出一定的相似性,受到新冠疫情的影响,2020 年的排放强度及分布密集程度不及 2021 年。

3 讨论

根据区域的时空变化差异,将黄海的排放结果分为北黄海和南黄海分别讨论。伏季休渔期前,渔船二氧化碳排放高值区主要集中在南黄海区域,呈现出明显的北低南高的纬度差异。休渔结束后,排放热点分布总体变化趋势表现为由近岸向外海方向移动。在南黄海区域,9 月的高值区主要分布在山东半岛南部至中韩渔业协定水域西边界一带海域,从 10 月开始高值区逐渐离开近岸海域并向东南移动,12 月到达协定水域内部,几乎遍布南黄海中部的开阔海域。在北黄海区域,9 月的高值区主要分布在山东半岛东部及北部近岸海域,10 月开始由近岸向北黄海中部移动,随后几乎遍布北黄海海域。而渤海区域 1—8 月几乎无排放分布,这主要是与渤海的渔业资源保护管理较严格有关,9—10 月渤海区域的排放热点主要分布在渤海湾及黄河入海口周边近岸海域,10—11 月逐渐由近岸向渤海中部移动。因此,不论是渤海还是黄海,从秋季开始渔船的二氧化碳排放重心总体上是由沿岸海域向中部开阔海域方向扩散,这可能是由于秋季多数鱼类多处于索饵洄游阶段^[31],同时经过伏季休渔期后秋季的渔业资源量显著增加,致使渔场分布较其他季节更为分散。

气候变化是一个紧迫的全球问题,温室气体排放量的增加已成为阻碍全球社会和经济发展的严重问题,农业行业已成为温室气体排放的贡献者之一^[32],根据已有研究结果,2021 年中国农业生产过程(不含渔业)引起的二氧化碳排放量为 6 847 万 t,且平均年增长率达到 2.93%^[33]。渔船活动引起的气候变化效应表现为两个方面,一是渔船航行排放的二氧化碳能使大气变暖,二是渔业捕捞降低了海洋生物的碳封存能力,进一步间接增加了释放到大气中的二氧化碳。渔业生产过程主要包括水产养殖和海洋渔船捕捞两种形式,在不考虑水产养殖业碳排放的前提下,仅渤海区域 39 626 艘渔船在 2021 年的二氧化碳排放量就已达 945 万 t,相当于农业二氧化碳排放量的 14%,若加入东海和南海区域的渔船,整个海洋捕捞业的二氧化碳排放量将在农业行业中占据相当的份额,因此渔业的碳排放量目前处于被严重低估的状态。可以粗略估算,按平均一艘渔船年度排放 238.48t 二氧化碳进行测算,则中国拥有的 52 万艘渔船在 2021 年的二氧化碳排放量约为 1.24 亿 t。根据联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)统计数据,2021 年全球渔船总数量为 420 万艘^[34],可推测 2021 年全球渔船的二氧化碳排放总量约为 10 亿 t。同时,2021 年全球二氧化碳排放量为 363 亿 t^[35],这样,全球渔船的二氧化碳排放量占全行业的 2.75%。尽管如此,由于实际存在的渔船数量远超过数

据库中存储的渔船数量,故本研究得到的渔船二氧化碳排放量仍低于实际情况。可见就气候影响而言,渔业活动所产生的温室气体排放力度已不容小觑,应该予以足够的重视并采取相应的减排措施,如加强清洁能源在刺网和拖网渔船上的推广应用^[36]、改善动力能源结构^[37]、开发船载碳捕集装置^[38]、推进减船转产政策以削减渔船数量^[39]、强化热点区域的碳排放优化管理^[40]等,渔业产业向绿色低碳转型迫在眉睫。当前,中国渔船碳排放呈增长趋势,且存在明显的空间差异性,因此需结合中国碳排放的空间特征,因地制宜地制定合理的降碳减排政策。

4 结论及政策建议

本文构建了渔船二氧化碳排放精细化计算模型,结合渔船静态管理及动态船位数据,计算分析了渤海黄海域的二氧化碳排放强度与时空分布特征,并将渔船的二氧化碳排放情况分成 9 种作业类型进行讨论,同时给出了不同月份渔船二氧化碳排放的空间分布规律,具体结论如下:

1) 渤海黄海域各类机动渔船在 2020 和 2021 年的二氧化碳排放总量分别为 450 万和 945 万 t,总体呈现出近岸低、外海高的分布特征。

2) 拖网和刺网渔船是二氧化碳年度累计排放的主要贡献者,但就单船单位航行时长二氧化碳排放量而言,辅助船最高,围网渔船次之。

3) 不同年份相同月份的渔船二氧化碳排放空间分布呈现出一定的相似性,伏季休渔期开始前强碳源主要出现在黄海中南部区域,休渔期结束后强碳源主要出现渤海中部、山东半岛东部以及黄海中部海域一带,年度内渔船二氧化碳排放重心总体上是由沿岸海域向中部开阔海域方向扩散。

研究表明,全球渔船的二氧化碳排放量存在被严重低估的情况,就气候影响而言,渔业活动所产生的温室气体排放力度已不容小觑,渔业产业向绿色低碳转型迫在眉睫,应该予以足够的重视并采取相应的减排措施。

基于以上研究结论,为有效控制并减少渔业碳排放总量,本文提出降低中国渔船碳排放的对策建议。一是针对海洋捕捞机动渔船基数大的问题,应持续推进渔船减船转产及限额捕捞等政策的实施,有效压减海洋渔船数量和捕捞产量,以绿色高效的水产养殖方式替代传统捕捞生产作业方式;二是重点针对刺网和拖网碳排放总量大、能耗高的问题,应加快改进渔船动力提供系统,鉴于拖网和刺网渔船是二氧化碳排放的主要产生源,排放总量占比超过 70%,应重点针对刺网和拖网渔船进行清洁能源化改造,以电力推进动力系统替代传统燃油驱动方式,调整能源消耗结构,减少二氧化碳排放。对于不易进行清洁化改造的渔船,应加强碳捕集装置、低能耗船载设备的推广应用,同时优化船型结构,提高渔船综合节能效率,从而间接减少二氧化碳排放;三是根据渤海黄海域碳排放的空间分布和热点集聚状态,应重点加强在渤海湾渔场、滦河口渔场、海东渔场、烟威渔场、

石岛渔场、石东渔场、海州湾渔场及大沙渔场作业渔船的碳排放监测与管理, 结合不同渔场的碳排放水平与碳排放差异, 制定不同的碳排放配额, 并将碳排放配额纳入捕捞许可制度和燃油补贴制度, 从政策和经济两方面来倒逼渔船向绿色低碳转型, 从而缓解热点区域的碳排放压力。

[参 考 文 献]

- [1] Sala E, Mayorga J, Bradley D, et al. Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate[J]. *Nature*, 2021, 592: 397-402.
- [2] Zurek M, Hebinck A, Selomane O. Climate change and the urgency to transform food systems[J]. *Science*, 2022, 376(6600): 1416-1421.
- [3] Laborde D, Mamun A, Martin W, et al. Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions[J]. *Nature Communications*, 2021, 12: 2601.
- [4] 汪开英, 李鑫, 陆建定, 等. 碳中和目标下畜牧业低碳发展路径[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(1): 230-238.
Wang Kaiying, Li Xin, Lu Jianding, et al. Low-carbon development strategies of livestock industry to achieve goal of carbon neutrality in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2022, 38(1): 230-238. (in Chinese with English abstract)
- [5] Herrero M, Henderson B, Havlik P, et al. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6: 452-461.
- [6] Free C M, Cabral R B, Froehlich H E, et al. Expanding ocean food production under climate change[J]. *Nature*, 2022, 605: 490-496.
- [7] McKuin B, Campbell J E. Emissions and climate forcing from global and Arctic fishing vessels[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2016, 121(4): 1844-1858.
- [8] 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. 2022 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- [9] 杨胜龙, 张胜茂, 周为峰, 等. 采用 AIS 计算中西太平洋延绳钓渔船捕捞努力量[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(3): 198-203.
Yang Shenglong, Zhang Shengmao, Zhou Weifeng, et al. Calculating the fishing effort of longline fishing vessel in the western and central pacific ocean using AIS[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2020, 36(3): 198-203. (in Chinese with English abstract)
- [10] Li C, Yuan Z, Ou J, et al. An AIS-based high-resolution ship emission inventory and its uncertainty in Pearl River Delta region, China[J]. *Science of The Total Environment*, 2016, 573: 1-10.
- [11] 牟军敏, 张新生, 姚鑫, 等. 基于航行数据的北极地区船舶排放清单[J]. *交通运输工程学报*, 2019, 19(5): 116-124.
Mou Junmin, Zhang Xinsheng, Yao Xin, et al. Emission inventory of ship based on navigation data in Arctic region[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2019, 19(5): 116-124. (in Chinese with English abstract)
- [12] Huang L, Wen Y, Zhang Y, et al. Dynamic calculation of ship exhaust emissions based on real-time AIS data[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 80: 102277.
- [13] Parker R W R, Blanchard J L, Gardner C, et al. Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries[J]. *Nature Climate Change*, 2018, 8: 333-337.
- [14] Weng J, Shi K, Gan X, et al. Ship emission estimation with high spatial-temporal resolution in the Yangtze River estuary using AIS data[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 248: 119297.
- [15] Moreno-Gutiérrez J, Durán-Grados V. Calculating ships' real emissions of pollutants and greenhouse gases: Towards zero uncertainties[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 750: 141471.
- [16] Kramel D, Muri H, Kim Y R, et al. Global shipping emissions from a well-to-wake perspective: The MariTEAM model[J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55: 15040-15050.
- [17] Wang Y, Watanabe D, Hirata E, et al. Real-time management of vessel carbon dioxide emissions based on automatic identification system database using deep learning[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9(8): 871.
- [18] Sun Y, Lü L, Cai Y, et al. Prediction of black carbon in marine engines and correlation analysis of model characteristics based on multiple machine learning algorithms[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29: 78509-78525.
- [19] 王征, 刘瑛, 张卫, 等. 中国周边海域船舶二氧化碳排放特征研究[J]. *交通节能与环保*, 2018, 14(6): 30-33.
Wang Zheng, Liu Ying, Zhang Wei, et al. Study on characteristics of ship CO₂ emissions from seas surrounding China[J]. *Energy Conservation & Environmental Protection in Transportation*, 2018, 14(6): 30-33. (in Chinese with English abstract)
- [20] 陈伟杰, 宋炳良, 张婕姝. 基于 AIS 数据的中国沿海集装箱港口碳排放[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(7): 3404-3411.
Chen Weijie, Song Bingliang, Zhang Jieshu. Carbon emission from coastal container ports in China based on AIS data[J]. *China Environmental Science*, 2022, 42(7): 3404-3411. (in Chinese with English abstract)

- [21] Fan A, Yang J, Yang L, et al. A review of ship fuel consumption models[J]. *Ocean Engineering*, 2022, 264: 112405.
- [22] 邱浩, 刘丹彤, 吴杨周, 等. 结合在线监测和自动识别系统分析东海沿岸船舶排放特征[J]. *环境科学*, 2022, 43(10): 4338-4347.
Qiu Hao, Liu Dantong, Wu Yangzhou, et al. Investigating the pollutants of marine shipping emissions along the east China sea by combining in-situ measurements and automatic identification system[J]. *Environmental Science*, 2022, 43(10): 4338-4347. (in Chinese with English abstract)
- [23] 汪承杰, 环久峰, 张洪朋, 等. 2018 年大连海域船舶大气污染物排放特征及影响分析[J]. *中国环境监测*, 2022, 38(4): 165-173.
Wang Chengjie, Huan Jiufeng, Zhang Hongpeng, et al. Emission characteristics and impacts of air pollutants from ships in Dalian sea area in 2018[J]. *Environmental Monitoring of China*, 2022, 38(4): 165-173. (in Chinese with English abstract)
- [24] Zhou C, Ding Y, Huang H, et al. Meso-level carbon dioxide emission model based on voyage for inland ships in the Yangtze River[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 838(3): 156271.
- [25] Brown I N, Aldridge M F. Power models and average ship parameter effects on marine emissions inventories[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2019, 69(6): 752-763.
- [26] Singh D V, Pedersen E A. A review of waste heat recovery technologies for maritime applications[J]. *Energy Conversion and Management*, 2016, 111: 315-328.
- [27] Berthelsen F H, Nielsenac U D. Prediction of ships' speed-power relationship at speed intervals below the design speed[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2021, 99: 102996.
- [28] 裴凯洋, 张胜茂, 樊伟, 等. 浙江省帆张网捕捞强度分布的提取方法[J]. *水产学报*, 2020, 44(11): 1913-1925.
Pei Kaiyang, Zhang Shengmao, Fan Wei, et al. Extraction method of stow net fishing intensity distribution in Zhejiang province[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(11): 1913-1925. (in Chinese with English abstract)
- [29] Huang L, Wen Y, Geng X, et al. Integrating multi-source maritime information to estimate ship exhaust emissions under wind, wave and current conditions[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 59: 148-159.
- [30] Zhang F, Chen Y, Chen Q, et al. Real-world emission factors of gaseous and particulate pollutants from marine fishing boats and their total emissions in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(8): 4910-4919.
- [31] Mariani G, Cheung W, Lyet A, et al. Let more big fish sink: Fisheries prevent blue carbon sequestration-half in unprofitable areas[J]. *Science Advances*, 2020, 6(44): 4848.
- [32] Elahi E, Khalid Z, Zhang Z. Understanding farmers' intention and willingness to install renewable energy technology: A solution to reduce the environmental emissions of agriculture[J]. *Applied Energy*, 2022, 309: 118459.
- [33] Zhang X, Wu L, Ma X, et al. Dynamic computable general equilibrium simulation of agricultural greenhouse gas emissions in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 345: 131122.
- [34] Food and Agriculture Organization. The state of world fisheries and aquaculture 2022[R/OL]. Rome: FAO, 2022. [2022-08-25] www.lmcwater.org.cn/authoritative_opinion/study/202207/P020220707777478035664.pdf
- [35] International Energy Agency. Global energy review: CO₂ emissions in 2021[R/OL]. Paris: IEA Publications, 2022. [2022-08-25] iea.blob.core.windows.net/assets/c3086240-732b-4f6a-89d7-db01be018f5e/GlobalEnergyReviewCO2Emissionsin2021.pdf
- [36] Kim J Y, Lee J H, Oh J H, et al. A comparative study on energy consumption forecast methods for electric propulsion ship[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, 10(1): 32.
- [37] 康与宁, 李向荣, 薄大伟, 等. TCD 燃烧系统对柴油机燃烧和排放性能改善效果的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(11): 50-59.
Kang Yuning, Li Xiangrong, Bo Dawei, et al. Experimental study on the improvement effects of TCD combustion system on combustion and emission performance of diesel engine[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(11): 50-59. (in Chinese with English abstract)
- [38] Langie K M G, Tak K, Kim C, et al. Toward economical application of carbon capture and utilization technology with near-zero carbon emission[J]. *Nature Communications*, 2022, 13: 7482.
- [39] 孙康, 赵艳娜, 苏子晓. 柴油补贴与渔民家庭转产转业: 微观证据及作用机制[J]. *农林经济管理学报*, 2022, 21(3): 342-251.
Sun Kang, Zhao Yanna, Su Zixiao. Diesel fuel subsidies and fishermen family careers change: microscopic evidence and action mechanism[J]. *China Academic Journal Electronic Publishing House*, 2022, 21(3): 342-251. (in Chinese with English abstract)
- [40] Xia Z, Guo Z, Wang W, et al. Joint optimization of ship scheduling and speed reduction: A new strategy considering high transport efficiency and low carbon of ships in port[J]. *Ocean Engineering*, 2021, 233: 109224.

Carbon emissions from fishing vessels in the Bohai Sea and Yellow Sea

Lu Feng^{1,2}, Xu Shuo^{1,2*}, Li Dan¹, Liu Huiyuan¹, Zhu Yong¹, Cui Guohui¹

(1. Institute of Fisheries Engineering of Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100141, China; 2. Laoshan Laboratory, Qingdao 266237, China)

Abstract: The Bohai Sea and the Yellow Sea have been the essential marine granary and eco-environmental governance areas in China. Wherein the carbon dioxide emission from fishing vessels can be normally neglected to assess the global greenhouse gas (GHG). It is very necessary to identify the specific contribution of the productive fishing vessels to the GHG emission, in order to reduce the carbon emission for the carbon neutral. Taking the Bohai Sea and the Yellow Sea as the research areas, this study aims to explore the spatiotemporal characteristics of carbon dioxide emission from the fishing vessels. A dynamic calculation model of carbon dioxide emission from fishing vessels was established using vessel management and position data, in order to reveal the impact of fishery production activities on climate warming. Nine types of fishing vessels were also selected to analyze the carbon dioxide emissions intensity and spatiotemporal characteristics from 2020 to 2021. Results showed that: 1) The total carbon dioxide emissions of fishing vessels in Bohai Sea and the Yellow Sea were 4.5 and 9.45 million tons, respectively, indicating the distribution characteristics of low nearshore and high offshore. Hot spots were distributed mainly in the fishing ground of Bohai Bay, Luanhekou, Haidong, Yanwei, Shidao, Shidong, Haizhou Bay, and Daisha. Every ton of fishing catches emitted approximately 1.57 and 3.27 t of carbon dioxide, respectively, when considering the yield data. 2) Trawler and gillnet fishing vessels were the main contributors to the total carbon dioxide emissions, accounting for more than 70% of the total emissions from all fishing vessels. Among them, the auxiliary vessels were the highest, followed by the purse seiner vessels, in terms of emissions per vessel per unit sailing time. Carbon dioxide emissions per unit sailing time from the single vessel were similar to the trawler, gillnet, stow net, purse seine, auxiliary, and unknown types, whereas, there was the significant difference for the line, and aquaculture types. 3) There was the similar spatial distribution of carbon dioxide emissions from the fishing vessels in the same month in the different years. But the hot spots exhibited a strong spatial difference. Firstly, the hot spots occurred in the central and southern part of the Yellow Sea from January to April, where a high-value belt was extended the southeast from the Haizhou Bay to the East China Sea. Then, there was no carbon dioxide emission in the offshore area from May to August. Eventually, the hot spots were shifted to the central Bohai Sea, the eastern Shandong Peninsula, and the central Yellow Sea from September to December. In general, the center of gravity of carbon dioxide emission from the fishing vessels was transferred from the coastal to the central open waters. The finding can provide a theoretical basis for the transformation of fisheries into the low carbon. Two suggestions were also proposed to reduce the carbon emissions of fishing vessels. One is to accelerate the transformation of fishery production and product formats, and another is to strengthen the carbon emission management of key fishing vessels and key areas. In the end, it can be expected to assess the carbon emission system for the fishing vessels.

Keywords: carbon dioxide emissions; fishing vessel; data mining; greenhouse gas; climate warming