

基于GIS和AIS的渤海海上船舶活动 时空特征分析

陈仁丽^{1,2}, 王宜强³, 刘柏静^{1,2}, 官 萌^{1,2}, 吴晓青^{1,4*}

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 山东 日照 276826; 4. 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东 烟台 264003)

摘要:基于2018年海上船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)数据,借助GIS空间分析方法,对渤海海上船舶位置及密度、船舶速度等空间分布特征以及船舶流量日、月和季节变化的时间特征进行分析,得到以下结论:① 渔业船舶多活动于近岸海域,呈团聚状分布;商业船舶多聚集在公共航道区,整体呈带状分布;货船数量占商业船舶总量的78.58%,主要为中型货船,客船与油轮以中小型船舶所占比重相对较大。② 渤海船舶速度以中低速为主,尤其是渔业船舶;较高速度的船舶主要是大中型货船和客船。③ 渔业船舶活动时间和季节变化特征显著,秋季休渔期结束后以及白天工作时间段渔船活动较频繁;与渔业船舶相比,渤海商业船舶活动受季节变化和昼夜交替影响较小。分析发现,渤海交通流密度高,船舶会遇频繁,发生船舶碰撞以及重大污染事故的风险较大;东西向和南北向的海上交通与渔业捕捞作业船舶之间存在较大的海域空间利用冲突,需要引起足够的重视。自然环境与资源条件、沿岸社会经济发展与港口建设、海域管制等因素影响海上船舶时空分布。

关键词:船舶活动;时空特征;AIS;GIS;渤海

随着中国海洋运输业、港口物流业和对外贸易的快速发展^[1],沿海港口吞吐量逐年增加,进出港口和近岸海域的船舶数量也在迅速增长,船舶种类和结构日趋多样化,海域船舶交通流越来越复杂,海域污染和海上航行的安全问题越来越突出,给海洋环境管理和海上交通安全管理带来诸多挑战。

船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)是一种应用于船和岸、船和船之间的海事安全与通信的新型助航系统。AIS技术自出现以来发展迅速,在很多领域得到广泛应用,其中在航海实践中可为海上船舶避碰和海事管理提供良好的数据信息支持^[2]。区域特定时段内的船舶AIS

数据可用来进行海上交通密度、流量等信息统计分析^[3-6],开展船舶通过能力模拟^[7-9]、船舶碰撞风险管理^[10-14]等相关研究。然而,国内外现有研究主要是从事海事、海上交通运输相关专业领域的学者们开展的海事信息分析与船舶碰撞风险评估等方面的研究,对海上船舶活动本身时空分布特征、驱动机制和生态环境影响的研究鲜有报道。近年来,海洋经济逐渐成为沿海地区经济发展的新增长极^[15-16],人类对海洋资源开发利用的强度和广度不断增加,海上人类活动日益多样化,人海关系矛盾增加^[17-18],包括海上船舶活动在内的近海各类海域空间开发利用活动以及与海洋环境相互作用关系的相关研

收稿日期:2019-05-13;修订日期:2019-07-27。

基金项目:中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14);中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA11020305);山东省高校人文社科项目(J17RA213)。[Foundation: Key Project of the Chinese Academy of Sciences, No. KZZD-EW-14; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (Class A), No. XDA11020305; Shandong University Humanities and Social Science Project, No. J17RA213.]

第一作者简介:陈仁丽(1996—),女,山东潍坊人,硕士生,研究方向为GIS与遥感应用。E-mail: 1987887320@qq.com

*通信作者简介:吴晓青(1978—),女,山东肥城人,博士,副研究员,研究方向为海岸带规划管理、GIS与遥感应用。

E-mail: xqwu@yic.ac.cn

引用格式:陈仁丽,王宜强,刘柏静,等.基于GIS和AIS的渤海海上船舶活动时空特征分析[J].地理科学进展,2020,39(7):1172-1181.[Chen Renli, Wang Yiqiang, Liu Baijing, et al. Spatio-temporal characteristics of ship activities in the Bohai Sea based on GIS and AIS. Progress in Geography, 2020, 39(7): 1172-1181.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.07.010

究正在逐步加强^[19-23]。

本文基于2018年海上船舶AIS数据,以渤海为实验区,借助数理统计和GIS地理空间分析方法,实现AIS大数据的批量化处理,对渤海海上船舶位置、密度、速度等空间分布特征以及时间特征进行分析,揭示船舶活动的时空分布规律,以期为海上船舶交通规划、海域使用管理和海洋生态环境保护提供决策支持。

1 研究区概况

渤海是中国东部北端半封闭型的内海(图1),位于37°07′~41°00′N、117°35′~121°10′E之间,主要由渤海湾、莱州湾和辽宁湾3个海湾组成,沿岸被辽宁、河北、山东和天津三省一市所环绕,海域面积约77284 km²,大陆海岸线长达3628.1 km,平均水深18 m,最大水深85 m,水深20 m以下的海域面积占一半以上^[24-25]。渤海海域为典型的季风气候,夏季盛行偏南风,大风强风等发生次数相对较少;冬季盛行偏北风,大风强风发生次数多,对船舶航行安全具有极大的威胁。

环渤海地区的社会经济和海洋经济发达。2017年,环渤海三省一市的国内生产总值占全国国内生产总值的18.02%,海洋生产总值占全国海洋生产总值的31.7%^①。环渤海区域分布着辽东半岛经济区、京津冀经济区和山东半岛蓝色经济区,是中国重要的经济发展区域。渤海海域渔业资源和矿产资源等资源条件得天独厚,港口码头密集,海运

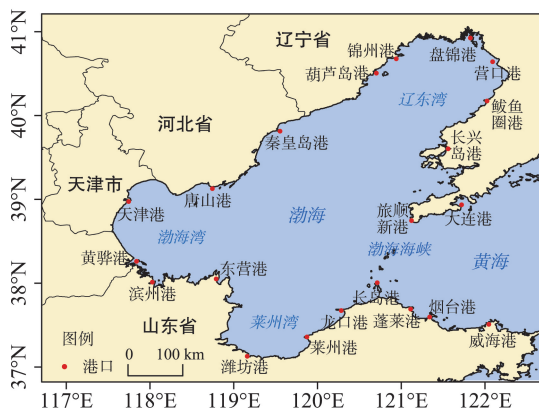


图1 渤海区位

Fig.1 Location of the Bohai Sea

十分发达,已经成为中国北方对外贸易的重要海上交通通道。

2 船舶AIS数据处理与方法

2.1 船舶AIS数据预处理

船舶AIS数据信息包含船名、船长、船宽、载重吨、船舶位置、航迹向、航速和航行状态等静态和动态信息^[20]。它不仅可以帮助进行船舶识别、目标追踪,提高船舶航行的安全系数,还为船舶交通流数据获取提供了一种可靠的方法^[26]。

本文采用的船舶AIS数据来源于船讯网(<http://www.shipxy.com>),时间为2018年1月1日—12月31日,地理范围为117°~123°E、37°~41°N,涵盖渤海和黄海北部海域,数据存储格式为.CSV文件,数据容量为40 G。首先对船舶AIS原始数据进行质量控制^[27],删除信息不全、不合常理的数据记录,提取本研究所需要的数据信息。由于数据量巨大,采用均匀采样法对处理后的数据进行采样处理。具体做法是:自1月1日起,每隔3 d进行日采样,全年共选取122 d的数据;每日又选取整时段的第一分钟,共计24 min的船舶数据,最终将417996条船舶信息记录纳入分析。按照船舶经纬度信息导入ArcGIS软件,进行海上船舶活动时空特征变化分析。船舶类型分为渔业船舶和商业船舶(包括货船、客船和油轮)2大类,暂不考虑作业船、公务船以及其他类型船舶。

2.2 船舶时空特征表征指标和计算方法

基于2018年渤海船舶AIS数据,选取船舶位置及密度、船舶速度以及船舶流量的日、月、季节变化为研究指标,分析渤海海上船舶活动的时空分布格局。

2.2.1 船舶密度计算方法

船舶密度是指某一时刻某一区域面积水域内的船舶数量,它直接反映了某一水域内船舶的空间分布,在一定程度上可以用来衡量水域船舶交通拥挤和危险程度^[14]。为便于分析,将研究区划分为4342个大小相等的5 km×5 km的网格,船舶交通密度值的计算以1 h通过每个网格的船舶数量来度量,计算公式为:

$$\rho = \frac{Q}{h} \quad (1)$$

① 2017年中国海洋经济统计公报, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1593717193391976365&wfr=spider&for=pc>。

式中： ρ 为船舶密度(艘次/h)， Q 为通过某一区域的船舶总数量， h 为时间。 ρ 越大，表示单位时间通过某一区域的船舶数量越多，交通越拥挤、越危险。

2.2.2 船舶交通量时间变化度量方法

船舶交通量是指某一时间间隔通过水域中特定位置的所有船舶数量，其大小在一定程度上能够表征相应航道的交通繁忙程度，船舶交通量指数越大，水域相应航道的交通流量越大，越忙碌。因此，船舶交通量统计分析是海上交通规划和调度管理的重要依据。交通量的统计模型为：

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2)$$

式中： \bar{F} 表示某一时间段内船舶交通量， F_i 表示某一时刻*i*的交通量， n 表示时间。为方便统计分析，本文基于采样数据以时间(时刻、月、季节)为单位计算通过研究区的海上船舶交通量，以度量渤海海域的海上交通情况。

3 渤海船舶活动空间特征分析

3.1 船位分布及密度

基于采样数据得到2018年渤海船位分布与船舶密度图(图2)。从图中可以得出，渤海海域船舶总体呈现出以港口、码头为依托，高度集中于各港口之间航线区的分布格局。渔业船舶呈团聚状分布，多活动于捕捞区及开放式养殖用海海域，近岸海域分布最广；商业船舶多聚集在航道区，部分停泊在码头及锚地区，整体呈带状分布。其中，商业船舶以货船为主，占商船总量的78.58%，高度集中在天津港、营口港—老铁山水道和长山水道。油轮和客船相对较少，分别占15.06%和6.36%。油轮主要分

布于东营港、天津港、营口港、大连港至老铁山水道和长山水道，且内部港口之间也具有一定的油轮交通流，如秦皇岛港与唐山港。客船航线与货船、油轮航线在一定程度上存在垂向交叉的关系，主要集中于蓬莱至长岛、旅顺至龙口和烟台以及大连至烟台、威海之间。

船舶密度统计结果显示，整个研究区域每25 km²每小时平均约有2艘船舶通过。其中，天津港、东营港、大连港附近海域船舶分布密度最高，多于15艘次/h，且东营港海域油轮聚集明显；营口港、长岛港、龙口港附近海域次之，大连—烟台港航线的客船分布最为集中；旅顺新港、烟台港、潍坊港、黄骅港、秦皇岛港周边海域船舶分布密度约为5~6艘次/h。除大型港口区、航道水域外，锦州港、唐山港、滨州港、莱州港等港口附近的渔港码头区域也聚集大量进出海及靠泊的渔业船舶。

3.2 船舶尺度分布

基于GIS得到各类型船舶尺度密度分级(图3、表1)。大型、巨型货船多集中在天津港、秦皇岛港等大型港口至老铁山水道、长山水道；锦州港、黄骅港、滨州港、东营港、潍坊港至老铁山水道、长山水道，中、小型货船较多。油轮以载重总吨位小于0.6万t的小型油轮为主，占50.46%；巨型油轮分布在天津港、营口港至老铁山水道和长山水道以及大连港近岸海域；内部港口交通流以小型油轮为主。客船以船长小于185 m的中小型船舶为主，占97.21%。其中，船长<100 m的小型客船以蓬莱至长岛交通运输为主；中型客船分布相对较广，整体呈倒“W”型，高度聚集在大连至烟台、威海，旅顺新港至烟台、蓬莱、龙口等航线区；大型、巨型客船主要分布在天津港至老铁山水道、长山水道。渔业船舶以大、中型

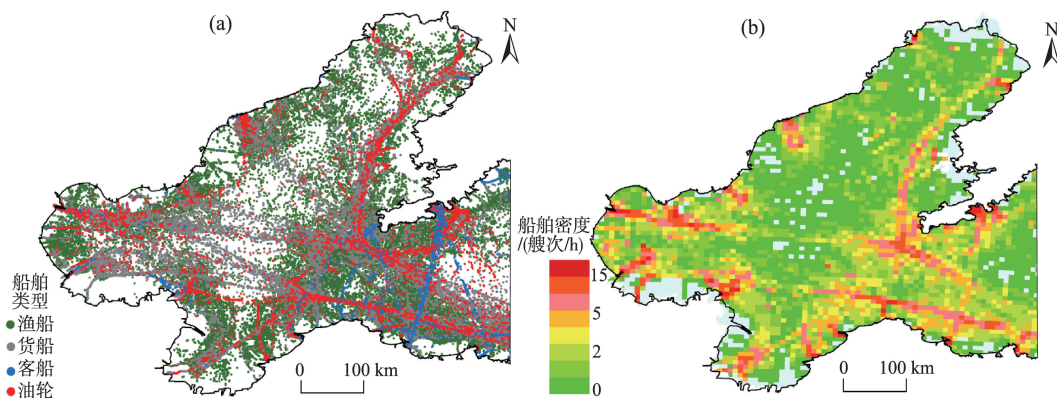


图2 2018年渤海船位分布及船舶密度

Fig.2 Distribution and density of ships in the Bohai Sea, 2018

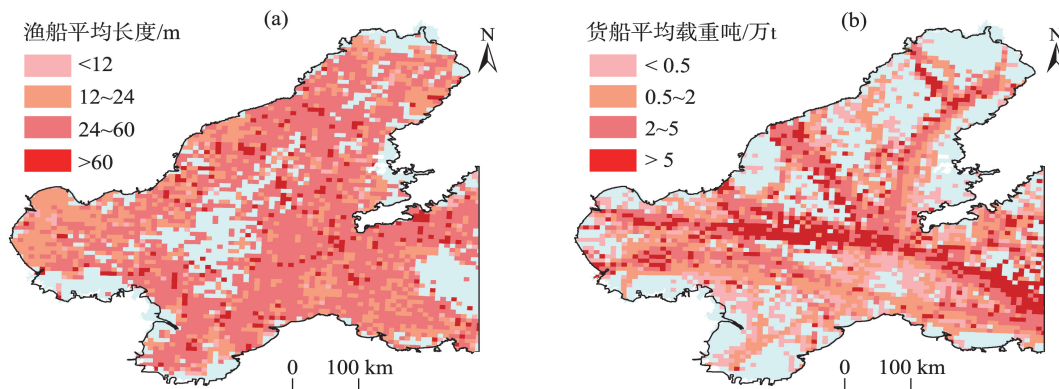


图3 渤海渔船与货船尺度分级

Fig.3 Scale classification of fishery ships and cargo ships in the Bohai Sea

表1 渤海各类型船舶尺度分级统计

Tab.1 Scale classification statistics for all types of ships in the Bohai Sea

类型	船型分类	小型	中型	大型	巨型
货船	载重吨/万 t	<0.5	0.5~2	2~5	>5
	占比/%	21.71	40.64	12.74	24.91
油轮	载重吨/万 t	<0.6	0.6~3.5	3.5~16	>16
	占比/%	50.46	31.99	14.92	2.63
客船	船长/m	<100	100~185	185~250	>250
	占比/%	43.80	53.41	1.19	1.60
渔船	船长/m	<12	12~24	24~60	>60
	占比/%	12.46	40.79	37.27	9.48

渔船为主,占 78.06%。小型渔业船舶和巨型渔业船舶分别占 12.46%、9.48%,小型渔业船舶分布在潍坊港、天津港、黄骅港、锦州港与长兴岛港附近;巨型渔业船舶主要集中在唐山港、秦皇岛港、大连港、龙口港与老铁山水道周围海域。此外,进出秦皇岛港、天津港、营口港的各种尺度船舶均较多,是渤海海域相对繁忙的港口。

3.3 船速分布特征

基于 GIS 得到 2018 年渤海平均船速分布图(图 4)。结果显示:整个渤海海域船舶速度以中低速(0~10 kn)为主,占海域船舶的 70.76%,主要分布于近岸海域,与渔业船舶的空间布局较为吻合,呈团聚状分布,说明渔业船舶在中低速船舶中占较大比重。其中,低速船舶(0~5 kn)占 29.40%,主要分布在近岸海域;中速船舶(5~10 kn)占 41.36%,主要集中在渤海湾、莱州湾东南部、大连海湾、烟台威海近岸海域;高速船舶(10~15 kn)占总数的 26.92%,集中分布于渤海湾主要航道区及辽东湾的锦州、营口—老铁山航道区;较高速船舶(15~20 kn)仅占 2.32%,分布在天津—老铁山水道航道区(表 2)。总体上,较高速度的

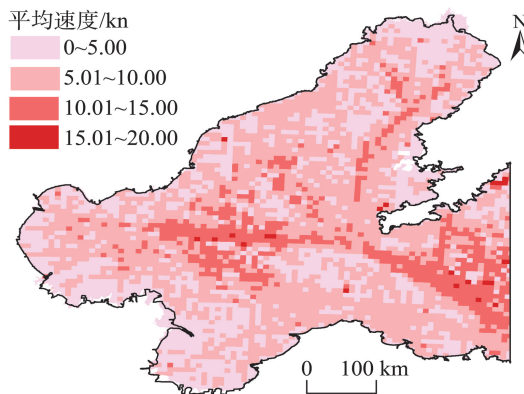


图4 渤海船舶速度分级

Fig. 4 Classification of ship speed in the Bohai Sea

船舶以货船和客船为主,渔业船舶则以中低速为主。

4 船舶流量时间分布特征分析

4.1 船舶流量日变化

以小时为单位进行船舶数量分布日变化统计(图 5a)。结果显示,渤海海域 1 d 内各时段商业船舶数量变化的波动性较小,中午时段船舶数量相对较

表2 渤海各类型船舶平均速度占比

Tab.2 The percentage of the average speed of all types of ships in the Bohai Sea (%)

船舶类型	低速(0~5 kn)	中速(5~10 kn)	高速(10~15 kn)	较高速(15~20 kn)
货船	13.29	42.56	41.17	2.98
客船	16.86	12.98	48.73	21.44
油轮	15.47	46.29	37.45	0.79
渔船	55.15	41.19	3.59	0.07
全部船舶	29.40	41.36	26.92	2.32

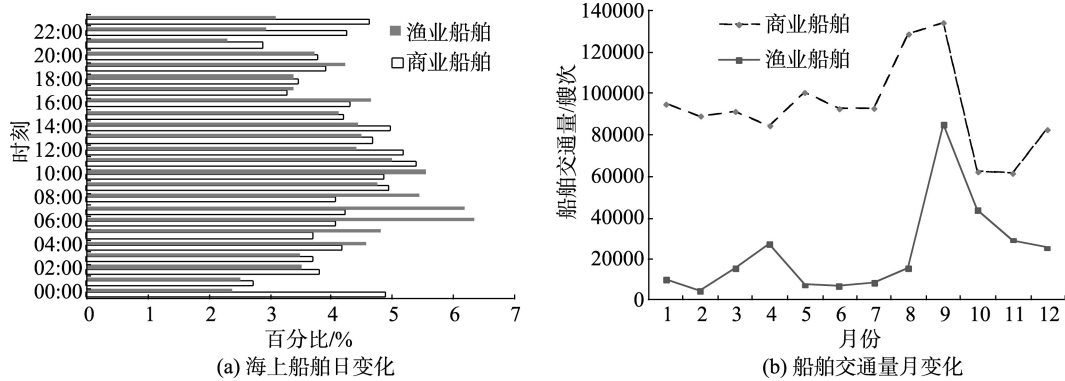


图5 渤海船舶活动时间变化特征

Fig.5 Temporal variation characteristics of ship activity in the Bohai Sea

多;渔业船舶数量则呈现较为明显的变化,早晨和中午活动比较频繁。6:00是渔业船舶数量明显变化的转折点,所占百分比最大,约6.5%,凌晨5时至傍晚16:00船舶数量相对较多,各时段所占百分比在4%以上。总体来看,中午及午夜时段,商业船舶活动相对较频繁;渔业船舶活动受昼夜交替影响较大,呈现“日出而作、日落而息”的状态。

4.2 船舶流量季节变化

通过渤海各类型船舶数量月变化、季节变化分布图(图5b、图6)与不同季度各类型船舶平均数量及相对全年均值的相对变化率(表3),发现秋季为渤海船舶数量的显著跳跃点,变化幅度极大。其中,商业船舶数量月变化存在起伏波动,8、9月份船舶数量较多,主要是由于该时段渤海沿岸港口货物吞吐量和客运量有所增加,分别约占全年的19.85%和34.87%^②;商业船舶季节平均变化不明显,整体上是夏、秋季略高于春、冬季,空间分布主要集中于渤海海域主要港口航道区内。渔业船舶活动具有明显的月变化和季节变化,船舶数量呈现秋季>夏季>冬季>春季的特征。尤其是休渔期一结束,9月份莱州湾西南部海域、渤海湾北部海域及龙口港、唐

山港、秦皇岛港以及老铁山水道附近海域的渔业船舶数量大幅增加,但10月以后,受气候条件等因素影响,渔业船舶数量逐渐减少。春季,渤海海域渔业船舶空间布局比较分散,黄骅港、莱州港和长岛港周围海域活动最为频繁,再加上2018年渤海休渔期调整为5—8月,使得春季渔业船舶相对全年的变化较大,比全年均值少69.43%。夏季,由于休渔期管理和渤海海域气候条件的影响,渔业船舶活动量相对较少,渤海湾和鲅鱼圈港附近海域渔业船舶数量明显增多。冬季,随着气温降低和结冰期的到来,渔业船舶数量明显减少,秦皇岛港和旅顺新港附近分布较为密集,比全年均值少55.62%。

5 海上船舶活动时空分布的影响因素

5.1 自然环境条件与资源分布

渤海自然地理特征和海洋环境条件在一定程度上影响海上船舶活动时空布局。渤海整体呈“三湾一峡一盆地”的地貌格局,地形较平缓,平均水深较浅。庙岛群岛将渤海海峡分割成多条水道,只有渤海海峡的老铁山水道水深较大,可以承载大型、

② 中华人民共和国交通部 <http://www.mot.gov.cn> 水运数据整理得出。

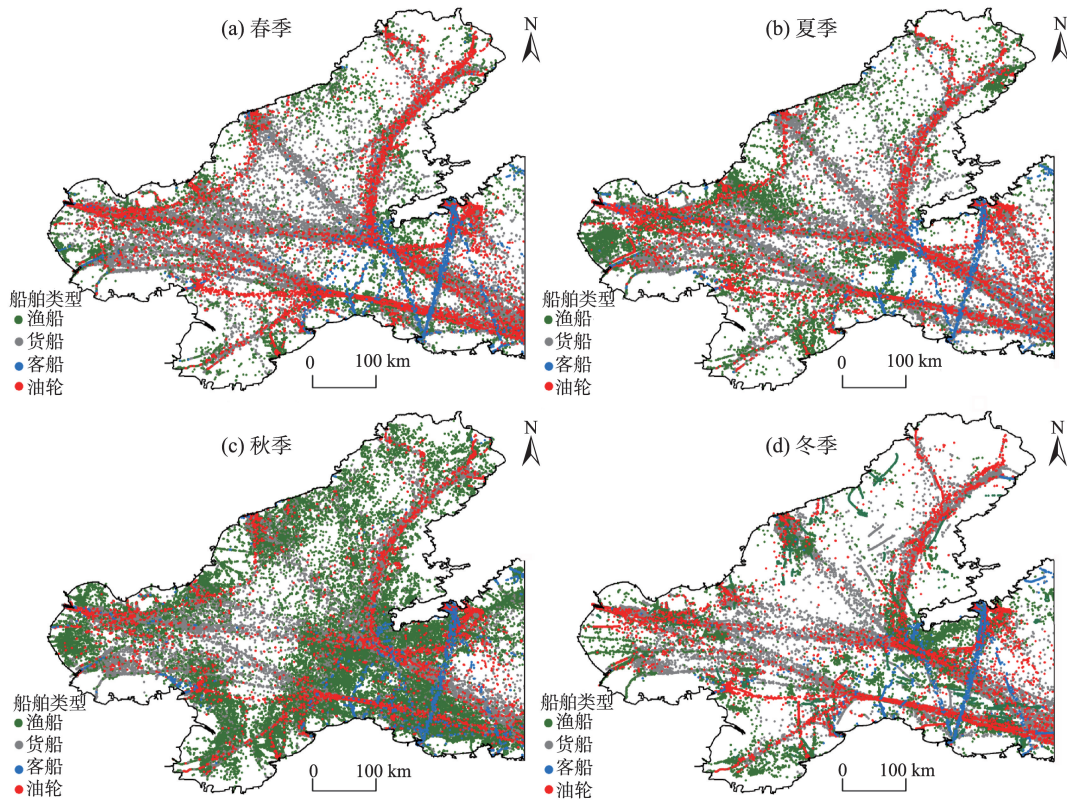


图6 渤海船舶分布季节变化

Fig.6 Seasonal variation of distribution of ships in the Bohai Sea

表3 渤海海上船舶数量季节变化统计

Tab.3 Seasonal variation statistics of the number of ships in the Bohai Sea

船舶类型	全年	春季(3—5月)		夏季(6—8月)		秋季(9—11月)		冬季(12—2月)	
	均值/ (艘次/h)	均值/ (艘次/h)	相对 变化/%	均值/ (艘次/h)	相对 变化/%	均值/ (艘次/h)	相对 变化/%	均值/ (艘次/h)	相对 变化/%
渔船	3153	964	-69.43	1626	-48.43	8517	171.10	1399	-55.62
货船	9980	9412	-5.69	11471	14.94	10303	3.24	8742	-12.40
客船	771	621	-19.46	997	29.31	826	7.13	643	-16.60
油轮	2005	1853	-7.58	2307	15.06	1897	-5.39	1972	-1.65
全部船舶	15909	12851	-19.22	16401	3.09	21543	35.41	12756	-19.80

巨型船舶通行。渤海海洋气象灾害较多,冬春季风暴潮多发,大雾和海冰也较多等,对海上船舶航行安全有很大威胁。当海上出现大雾等能见度不良天气时,能见距离减少,船舶航行通道和港口附近海域受交通量密度和航道宽度等因素影响,船舶发生海上交通事故的几率大大增加^[28-29];大风浪天气出现时,船舶容易出现横摇、纵摇、垂荡等,不利于船舶安全航行^[30-31],特别是对渔业船舶、客船和中小型货船的影响较大。

环渤海地区的自然资源非常丰富,特别是能源和矿产资源、渔业资源等资源开发条件得天独厚。

如渤海湾和辽东湾海域拥有丰富的油气资源,大型油田开发及油品码头泊位建设影响油轮活动和布局,使得营口港、秦皇岛港、天津港、大连港、东营港附近海域及其海上航线之间油轮交通流密集。渤海沿岸有辽河、海河、滦河、黄河等入海,初级生产力较高,渔业资源丰富,其周边海域海水养殖业和海上捕捞业发达,渔业船舶高度聚集。

5.2 经济发展与港口建设

海洋经济为区域经济发展注入了新的活力,逐渐成为新的经济增长极。自2000年以来,环渤海三省一市的海洋生产总值整体呈现不断上升的态势

(图7a),尤其是对海洋经济具有明显引擎作用的海洋运输业和港口物流业也快速发展,沿海港口货物吞吐量和集装箱吞吐量逐年增加(图7b),海上交通量稳定增长,使得渤海成为中国北方海域海上交通最为繁忙的水域。而沿岸港口码头布局及其配套服务设施的完善程度则进一步影响海上船舶活动空间分布,如作为全国重要综合性枢纽港的天津港、营口港、秦皇岛港等港口,港口建设的现代化程度相对较高,对外贸易发达,有利于大型、巨型船舶停靠,港区海域船舶活动密集;同样,渔业配套服务设施比较完善的国家级中心渔港和一级渔港周边海域聚集了众多的渔业船舶。

5.3 海上交通管制

军事管制、船舶航线的相关规定以及渔业休渔期对海上船舶活动的时空布局也会产生很大影响。为了降低船舶碰撞事故风险和特定水域通行密度,采取了分道通航、警戒区等定线制方法来规范船舶交通流。在渤海海峡的多条水道中,允许商业船舶通航的仅有老铁山水道、长山水道和庙岛海峡。其中,只有老铁山水道和长山水道允许外国船舶进出;庙岛海峡只允许200 t以下国内商业船舶航行^[6]。而老铁山水道由于受两侧军事禁航区的限制,允许船舶航行的宽度只有5.5海里(1海里=1.852 km)^[3],且中间又划分成宽为2.25海里的东西2个船舶航行通道^[32]。此外,2018年渤海休渔期由原来的6—8月调整为5—8月,使得渔业船舶活动时间格局发生变化,5月渔业船舶数量与往年相比大大减少。

6 结论

基于2018年渤海海上船舶AIS数据和GIS空间分析方法,对渤海渔业船舶和商业船舶活动时空

分布特征进行分析,得到以下结论:

(1) 渤海海域船舶活动比较密集,商业船舶中货船所占比例较大,客船和油轮也占有一定比重;商业船舶活动布局呈现出以天津港、秦皇岛港、营口港为依托,沿各港口航线向外散射的分布格局,且客船航线与货船、油轮存在垂直交叉的关系;渔业船舶多活动于近岸海域,呈团聚状分布。

(2) 渤海货船以中型船舶为主,大型、巨型货船多分布于天津港、秦皇岛港等大型港口至老铁山水道、长山航道;油轮与客船中小型船舶占比最大,巨型船舶主要集中在天津港—老铁山水道航线区。渤海船舶速度以中低速为主,且集中于近岸海域,较高速度的船舶主要是货船和客船,渔业船舶中低速所占比重较大。

(3) 渔业船舶活动的日变化、月变化和季节变化特征显著,秋季休渔期结束后以及白天时间段的渔船活动较频繁,9月为渔业船舶数量明显变化的转折点,升降幅度较大。与渔业船舶相比,渤海商业船舶活动受季节变化和昼夜交替影响较小。

(4) 自然环境条件与资源条件、沿岸社会经济发展与港口建设、海域管制等因素影响海上船舶时空分布格局。

纵观渤海船舶活动时空分布特征,渤海交通流密度高,船舶会遇频繁,发生船舶碰撞以及重大污染事故的风险较大;东西向和南北向的海上交通与渔业捕捞作业船舶之间存在较大的海域空间利用冲突,需要引起足够的重视。

受AIS数据性质^[33]和采样方法的影响,本文的计算结果可能存在偏差,但是能够较为真实地反映海上船舶活动总体特征。下一步将进行不同年份海上船舶活动特征的对比变化研究,揭示海上船舶活动的影响机制,量化评估海上船舶活动对渤海海洋生态环境产生的影响。

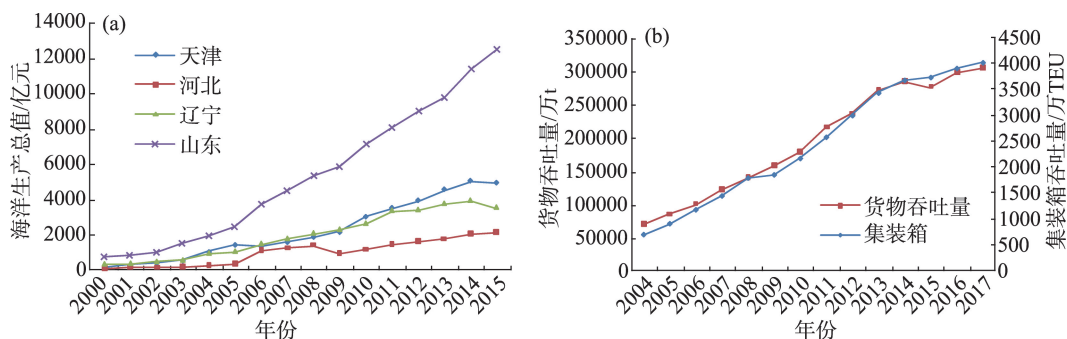


图7 环渤海地区海洋生产总值与港口货物、集装箱吞吐量变化

Fig.7 Changes of gross marine product and port cargo, container throughput around the Bohai Sea

参考文献(References)

- [1] 刘洋, 裴兆斌, 王悦. 辽宁省海洋服务新业态培育与法律保障研究 [J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(3): 28-33. [Liu Yang, Pei Zhaobin, Wang Yue. The cultivation of new business forms and legal guarantee of marine service in Liaoning Province. Ocean Development and Management, 2019, 36(3): 28-33.]
- [2] 牛佳伟, 林威. 卫星探测AIS的关键技术及其影响 [J]. 世界海运, 2015, 38(8): 32-35. [Niu Jiawei, Lin Wei. The key technology and influence of satellite detecting AIS. World Shipping, 2015, 38(8): 32-35.]
- [3] 万辉. 老铁山水道船舶交通流的调查与分析 [J]. 天津航海, 2010(2): 14-15, 41. [Wan Hui. Investigation and analysis of ship traffic flow in Laotieshan watercourse. Navigation of Tianjin, 2010(2): 14-15, 41.]
- [4] Scheepens R, Willems N, Van de Wetering H, et al. Interactive visualization of multivariate trajectory data with density maps [R]. IEEE Pacific Visualization Symposium, PacificVis 2011. Hong Kong, China, 2011: 147-154.
- [5] 朱姣, 刘敬贤, 陈笑, 等. 基于轨迹的内河船舶行为模式挖掘 [J]. 交通信息与安全, 2017, 35(3): 107-116, 132. [Zhu Jiao, Liu Jingxian, Chen Xiao, et al. Behavior pattern mining of inland vessels based on trajectories. Journal of Transport Information and Safety, 2017, 35(3): 107-116, 132.]
- [6] 刘敬贤, 韩晓宝. 渤海海峡船舶流的调查与分析 [J]. 船海工程, 2008(4): 95-98. [Liu Jingxian, Han Xiaobao. Survey and analysis of vessel traffic flow in the Bohai strait. Ship and Ocean Engineering, 2008(4): 95-98.]
- [7] 刘敬贤, 韩晓宝, 易湘平. 基于排队论的受限航道通过能力计算 [J]. 中国航海, 2008(3): 261-264, 268. [Liu Jingxian, Han Xiaobao, Yi Xiangping. Capacity analysis of restricted channels based on the queuing theory. Navigation of China, 2008(3): 261-264, 268.]
- [8] 刘敬贤, 文元桥. 基于船舶行为特征的港口航道通过能力仿真 [J]. 大连海事大学学报, 2009, 35(2): 31-33, 37. [Liu Jingxian, Wen Yuanqiao. Simulation of waterway transit capacity at harbor based on the ship behavior. Journal of Dalian Maritime University, 2009, 35(2): 31-33, 37.]
- [9] 刘敬贤, 刘聪, 赵振, 等. 基于船种聚类的航道通过能力量化方法 [J]. 交通信息与安全, 2017, 35(6): 46-53. [Liu Jingxian, Liu Cong, Zhao Zhen, et al. A quantitative method for traffic capacity of channels based on clustering of ship types. Journal of Transport Information and Safety, 2017, 35(6): 46-53.]
- [10] Curtis R. A ship collision model for overtaking [J]. Journal of the Operational Research Society, 1986, 37(4): 397-406.
- [11] Montewka J, Hinz T, Kujala P, et al. Probability modeling of vessel collisions [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2010, 95(5): 573-589.
- [12] Montewka J, Krata P, Kujala P, et al. A model for risk analysis of oil tankers [J]. The Archives of Transport, 2010, 12(4): 423-445.
- [13] Zhang L Y, Meng Q, Fwa T F. Big AIS data based spatial-temporal analyses of ship traffic in Singapore port waters [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2017, 129: 1-18.
- [14] 李连博, 牛佳伟, 刘军坡, 等. 基于AIS数据的海区通航危险度决策模型 [J]. 中国航海, 2018, 41(3): 68-75. [Li Lianbo, Niu Jiawei, Liu Junpo, et al. AIS data-based navigation risk modeling. Navigation of China, 2018, 41(3): 68-75.]
- [15] 李博, 田闯, 史钊源, 等. 辽宁沿海地区海洋经济增长质量空间特征及影响要素 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(7): 1080-1092. [Li Bo, Tian Chuang, Shi Zhaoyuan, et al. Spatial characteristics and influencing factors of marine economic growth quality in Liaoning coastal areas. Progress in Geography, 2019, 38(7): 1080-1092.]
- [16] 狄乾斌, 孙阳. 沿海地区海洋经济与社会变迁关联度评价: 以辽宁省为例 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(5): 713-720. [Di Qianbin, Sun Yang. Correlation of marine economy and social change in coastal areas: A case study in Liaoning Province. Progress in Geography, 2014, 33(5): 713-720.]
- [17] 韩增林, 刘桂春. 人海关系地域系统探讨 [J]. 地理科学, 2007, 27(6): 761-767. [Han Zenglin, Liu Guichun. Evolution of China's regional system of man-sea relation and its mechanism. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(6): 761-767.]
- [18] 刘天宝, 韩增林, 彭飞. 人海关系地域系统的构成及其研究重点探讨 [J]. 地理科学, 2017, 37(10): 1527-1534. [Liu Tianbao, Han Zenglin, Peng Fei. The composition and important research issues of human-ocean regional system. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(10): 1527-1534.]
- [19] 翟伟康, 张建辉. 全国海域使用现状分析及管理对策 [J]. 资源科学, 2013, 35(2): 405-411. [Zhai Weikang, Zhang Jianhui. Analysis of conditions, features and problems of sea area utilization in China. Resources Science, 2013, 35(2): 405-411.]
- [20] 刘柏静, 贾静, 吴晓青, 等. 基于AIS和多尺度空间模型的船舶活动时空特征及潜在压力 [J]. 大连海事大学学报, 2018, 44(3): 115-121, 128. [Liu Baijing, Jia Jing, Wu Xiaqing, et al. Spatial-temporal features and potential pressure of marine vessel activities based on AIS and

- multi-scales spatial model. *Journal of Dalian Maritime University*, 2018, 44(3): 115-121, 128.]
- [21] 刘柏静, 吴晓青, 杜培培, 等. 海域使用活动对海湾生态环境的压力评估: 以莱州湾为例 [J]. *海洋学研究*, 2018, 36(3): 76-83. [Liu Baijing, Wu Xiaoqing, Du Peipei, et al. Assessment of potential pressure caused by sea use activities on the eco-environment of bays: A case study in Laizhou Bay, China. *Journal of Marine Sciences*, 2018, 36(3): 76-83.]
- [22] Pedreschi D, Bouch P, Moriarty M, et al. Integrated ecosystem analysis in Irish waters: Providing the context for ecosystem-based fisheries management [J]. *Fisheries Research*, 2019, 209: 218-229.
- [23] 曹可, 张志峰, 马红伟, 等. 基于海洋功能区划的海域开发利用承载力评价: 以京津冀海域为例 [J]. *地理科学进展*, 2017, 36(3): 320-326. [Cao Ke, Zhang Zhifeng, Ma Hongwei, et al. Capacity for resource exploitation based on marine functional zones: A case study in the Tianjin-Hebei coastal area. *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 320-326.]
- [24] 曾容, 路文海, 杨翼, 等. 渤海生态环境问题与管理对策分析 [J]. *海洋开发与管理*, 2015, 32(5): 91-96. [Zeng Rong, Lu Wenhai, Yang Yi, et al. Analysis of ecological environment problems and management countermeasures in Bohai Sea. *Ocean Development and Management*, 2015, 32(5): 91-96.]
- [25] 吴培强, 张杰, 马毅, 等. 2010—2015年环渤海海岸线时空变迁监测与分析 [J]. *海洋科学进展*, 2018, 36(1): 128-138. [Wu Peiqiang, Zhang Jie, Ma Yi, et al. Coastline dynamics monitoring and analysis around the Bohai Sea using remote sensing images during 2010 and 2015. *Advances in Marine Science*, 2018, 36(1): 128-138.]
- [26] 朱金发, 孙文力, 汤华. 船载自识别系统手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005. [Zhu Jinfa, Sun Wenli, Tang Hua. *Manual of shipboard self identification system*. Beijing, China: People's Communications Press, 2005.]
- [27] Coomber F G, D'Inca M, Rosso M, et al. Description of the vessel traffic within the north Pelagos Sanctuary: Inputs for Marine Spatial Planning and management implications within an existing international Marine Protected Area [J]. *Marine Policy*, 2016, 69: 102-113.
- [28] Goerlandt F, Kujala P. Traffic simulation based ship collision probability modeling [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2011, 96(1): 91-107.
- [29] Li W F, Mei B, Shi G Y. Automatic recognition of marine traffic flow regions based on kernel density estimation [J]. *Journal of Marine Science and Technology*, 2018, 26(1): 84-91.
- [30] 王凤武, 郑中义, 吴兆麟. 大风浪船舶安全航行的研究综述 [J]. *大连海事大学学报*, 2002(4): 60-63. [Wang Fengwu, Zheng Zhongyi, Wu Zhaolin. Summarizing study on navigating safely for a ship in the heavy storm waves. *Journal of Dalian Maritime University*, 2002(4): 60-63.]
- [31] 杨润亮. 浅析船舶在大风浪中的航行安全 [J]. *中国水运*, 2018, 18(2): 18-19. [Yang Runliang. On the navigation safety of ships in the heavy wind and waves. *China Water Transport*, 2018, 18(2): 18-19.]
- [32] 中国海事局. 中国沿海内河水域船舶定线制和报告制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007. [Maritime Safety Administration of China. *The ship's routing and reporting system in China's coastal and inland waters*. Beijing, China: People's Communications Press, 2007.]
- [33] James M, Mendo T, Jones E L. AIS data to inform small scale fisheries management and marine spatial planning [J]. *Marine Policy*, 2018, 91: 113-121.

Spatio-temporal characteristics of ship activities in the Bohai Sea based on GIS and AIS

CHEN Renli^{1,2}, WANG Yiqiang³, LIU Baijing^{1,2}, GONG Meng^{1,2}, WU Xiaoqing^{1,4*}

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS, Yantai 264003, Shandong, China;

2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;

3. College of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, Shandong, China;

4. Key Laboratory of Coastal Environment Processes and Ecological Remediation, CAS, Yantai 264003, Shandong, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of marine transportation and port logistics and international trade, the traffic density and flow of ships at sea are increasing, which brings many challenges to the safety of maritime navigation and marine ecological environment. The application of Automatic Identification System (AIS) technology provides a good data source for maritime traffic management and marine spatial planning. Based on the AIS data of the Bohai Sea in 2018 with data quality control and sampling processing, this study analyzed the traffic characteristics of the Bohai Sea. By means of mathematical statistics and Geographic Information System (GIS) spatial analysis, the spatial distribution characteristics such as ship position and density, ship speed and the temporal characteristics of daily, monthly, and seasonal changes of ship flow in the Bohai Sea were analyzed in order to reveal the spatio-temporal variations of ship activities in the Bohai Sea. The influencing factors of the spatio-temporal distribution of maritime ship activities were also discussed. The results show that: 1) Fishing ships were mostly located in the offshore area, which were agglomerated. Commercial ships were mostly gathered in the common area, which were distributed in belts. The number of cargo ships accounted for 78.58% of commercial ships and they were mainly medium-sized cargo ships, and passenger ships and oil tankers were mainly small and medium-sized ships. 2) Speed of the ships was mainly medium and low, especially fishery ships. The ships with higher speed were mainly large and medium-sized freighters and passenger ships. 3) The activity time and seasonal change characteristics of fishery ships were significant, and activities were more frequent after the end of the fishing moratorium and during the daytime. Compared with fishery ships, the activities of commercial ships in the Bohai Sea were less affected by seasonal changes and day and night alternation. It is found that the Bohai Sea traffic flow density was high, ships met frequently, and the risk of ship collision and major pollution accidents increased through the study period. There is a large conflict between the east-west and south-north marine traffic and fishing ships in the utilization of maritime space, and more attention needs to be paid to this conflict. Natural environmental and resource conditions, coastal socioeconomic development and port construction, regulation of the sea, and other factors affect the spatio-temporal distribution of marine ships.

Keywords: ship activities; spatio-temporal characteristics; AIS; GIS; Bohai Sea