

引用格式:梅强,吴琳,彭澎,等.南海区域商船典型空间分布及贸易流向研究[J].地球信息科学学报,2018,20(5):632-639. [Mei Q, Wu L, Peng P, et al. Typical spatial distribution of merchant vessels and analysis of trade flow in south China Sea[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(5):632-639.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.180017

南海区域商船典型空间分布及贸易流向研究

梅强^{1,2}, 吴琳³, 彭澎⁴, 周鹏¹, 陈金海^{1,2*}

1. 集美大学航海学院, 厦门 361021; 2. 船舶辅助导航技术国家地方联合工程研究中心, 厦门 361021; 3. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101

Typical Spatial Distribution of Merchant Vessels and Trade Flow in South China Sea

MEI Qiang^{1,2}, WU Lin³, PENG Peng⁴, ZHOU Peng¹, CHEN Jinhai^{1,2*}

1. Navigation college, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. National-local Joint Engineering Research Center for Marine Navigation Aids Services, Xiamen 36102, China; 3. Institute of computing technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 4. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China

Abstract: With the deepening of China's opening to the outside world and the advancement of the Belt and Road Initiative, South China Sea, as an important gateway to China's opening-up and a vital joint for important sea-routes gathering in the world, is embodying prominently strategic position. How to ensure the safety of routes and regulate the vessels sailing in the open water of the south China Sea, safeguard national rights and enhance regional trade is a difficult problem for governmental administrators. In this paper, we excavated the typical spatial distribution of vessels by calculating and visualizing the traffic density of navigation in the South China Sea to analyze the main routes selected by full use of the satellite AIS data of South China sea in 2015 and vessel information database, so the habitual routes could be detected in this region. On the other hand, the statistics on the number of vessels in South China Sea were computed by the statistic line set to find the peak points of the vessel crossing data on the main routes being selected by the most of vessels. Via the above steps, the typical spatial distribution of vessels was defined clearly. Meanwhile, the main flow of trades in South China Sea was determined based on 4 dominant sorts (Bulk, Container, Oil&Chemical and Ro-Ro) of vessels' main routes selected. Research indicated that: (1) The main routes followed the authoritative sailing book《Admiralty Ocean Passage for the World》, which provides sailors with the routes consisting of the waypoints recommended. As a result, the construction and development have little influence on the navigation in this region. Maritime safety administrator can set traffic separation scheme efficiently based on this research; (2) Long-distance shipping is the major mode of transportation. Pearl River Delta being one of the main ends of trade flow indicates the China's dominant position in the South China Sea Trade. This research also attracts more attention to the Beibu

收稿日期 2017-12-28; 修回日期: 2018-03-22.

基金项目 :国家自然科学基金项目(41501490); 中国科学院重点部署项目(ZDRW-ZS-2016-6-3); 福建省教育厅基金(JAT160257); 福建省教育厅教改项目(JZ160302); 集美大学李尚大基金(ZC2016005)。 [**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.41501490; Key Project of the Chinese Academy of Sciences, No. ZDRW-ZS-2016-6-3; Fujian Provincial Educational Department Fundation, No.JAT160257; Fujian Provincial Teaching Reform Fundation, No.JZ160302; Li Shangda College Fundation, No.ZC2016005.]

作者简介 梅强(1987-), 男, 安徽宿州人, 助教, 主要从事船舶数据处理研究。E-mail: meiqiang@jmu.edu.cn

*通讯作者 陈金海(1980-), 男, 福建漳州人, 讲师, 主要从事海事大数据与GIS研究。E-mail: jhchen@jmu.edu.cn

Gulf and Hainan Island's trade potentiality.

Key words: Automatic Identification System; South China Sea; traffic density analysis; statistics lines calculation; trade flow; the Belt and Road Initiatives

***Corresponding author:** CHEN Jinhai, E-mail: jhchen@jmu.edu.cn

摘要: 随着中国对外开放的深入以及“一带一路”倡议的推进,南海战略地位更加显著。如何科学监管南海船舶,维护国家权益,促进地区之间贸易也成为摆在政府部门面前的难题。在本文中利用南海区域2015年的卫星AIS数据与船舶数据档案资料,通过计算南海水域船舶交通密度分析主要航路,与关键门线船舶流量计算相结合,明确船舶典型空间分布;同时基于4种类型船舶的主要航路的选择,明确南海货物贸易主要流向。研究成果表明:①船舶空间分布在《世界大洋航路》的推荐航线上,南海的建设开发并未影响船舶的贸易运输;②贸易运输以跨越南海的长距离运输为主,珠三角作为主要航路的重要端点表明中国在南海贸易的优势地位。

关键词: AIS;南海;交通密度分析;门线计算;贸易流向;一带一路

1 引言

作为国家“一带一路”的重要组成板块,同是也是世界航运、贸易、能源、渔业主要通道^[1],南海的自然、生态、海洋与经济对全球经济发展、国际政治及社会经济交流影响重大。作为研究的热点地区,一直以来诸多学者针对南海区域从各学科角度展开广泛而深入的研究,包括南沙岛礁及周边港口的可达性评价^[2]、海岸带建设用地格局分析^[3]、海洋渔业及生态保护^[4-6]、地球物理^[7]等。出于海运资源保护的迫切需求,及船舶触礁、搁浅与非法捕鱼对南海珍贵资源产生的灾难性影响,航路的安全也一直受到相关海事方向学者的关注,但文献主要集中在沿岸港口水道,包括中国珠江三角洲地区^[8-9]、新加坡及马六甲海峡^[10-11]等,鲜有对南海的开阔水域上船舶空间分布进行整体研究的。由于船舶触礁、搁浅与非法捕鱼会对南海珍贵资源产生灾难性影响,海事部门早有在广东、广西、海南沿海及南海建立船舶定线制的总体规划设想^[12],避免类似“桑吉”轮撞船事故在南海的发生,但由于南海航行船舶空间分布相关研究资料的缺乏,给海事部门的定线制规划带来困难。

理论上船员在开阔的大洋水域会参照权威书籍《世界大洋航路》的推荐航路进行航行^[13](图1),但就目前的文献提供的资料数据分析来看,随着近些年沿岸国家在南海基础设施的建设,是否会影响船员的实际航行,进而影响航路的走向是无法得到明确答案的;相比之前的相关研究成果选取典型月份分析的做法^[14],本文认为选取更长的时间跨度对南海船舶的典型分布进行分析会使论证更加充分;

同时,作为世界贸易的主要通道之一,船舶航路的选择中所蕴含的南海的贸易流向同样需要深入研究思考。

通过挖掘海上船舶空间位置数据,构建海上航行特征图是目前跟踪全球船舶行为特征^[15-16]、规范船舶秩序的基本手段之一^[17]。由于船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)能实时获取船舶的位置点、速度、航向等信息,可以很好地反映船舶的货运状态,因此在本文中选取2015年南海区域卫星AIS数据与船舶档案数据(www.hilfeet.com),利用船舶轨迹地理网格分布构建典型吨位区间的船舶交通密度图,并通过关键门线设置对航路上的通过船舶进行统计,明确南海船舶典型空间分布;同时根据不同种类船舶典型空间分布,分析研究南海上货物主要贸易流向。本论文的研究成果可为海事部门集约资源重点执法,保障“海上丝绸之路”运输安全,科学规划管理航路提供理论支持,亦可作为“一带一路”倡议下政府部门优化码头资源,增加贸易航线的参考依据。

2 研究区与方法

2.1 研究区概况

南海水域4个航区分别是东沙及周边海域(19°~24°N之间,113°30'E以东水域,主体水域20°20'~21°20'N,包括东沙群岛、中国广东及台湾以南水域);西沙及周边海域(13°~22°N之间,113°30'E以西水域,主体水域15°42'~17°08'N,111°10'~112°54'E内);中沙及周边海域(13°~19°N之间,113°30'E以东水域,主体水域15°24'~16°15'N,113°40'~114°57'E内,包括中沙群岛、黄岩岛及菲

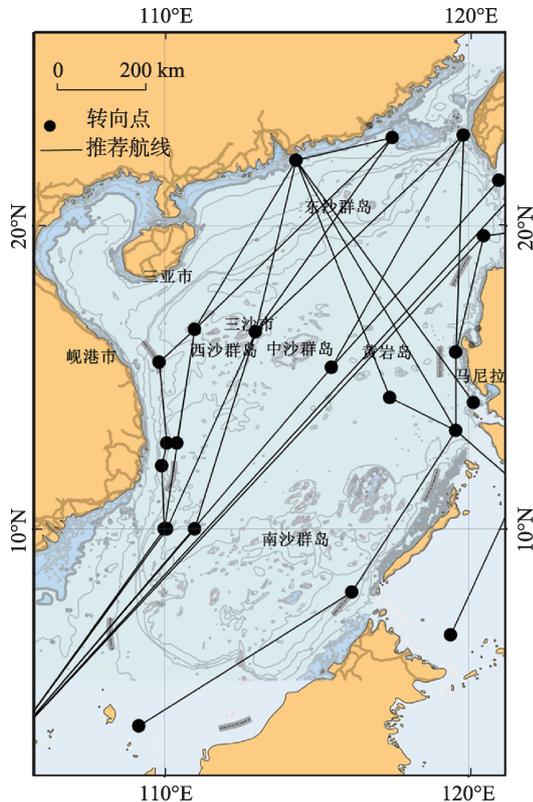


图1 《世界大洋航路》南海区域主要商船推荐航路
Fig. 1 Main recommended routes for merchant vessels in South China Sea

律宾以西水域);南沙及周边海域(2°~13°N之间,不包括泰国湾水域,主体水域3°37'~11°55'N,109°33'~117°50'E内)^[14,18]。

2.2 实验数据

通过AIS数据能够实时获得船舶与航次相关的静态信息、动态信息,有助于对航次起到整体监控的作用。但由于甚高频信号传输距离的限制,捕捉类似于南海这样的远洋区域的船舶AIS数据来源只能选用卫星AIS接收装置^[19]。本实验AIS数据由中国科学院计算所提供,数据抽取区域选取5°~22°N,106°~122°E区域,数据时间范围为2015年,数据集共800 991 250条信息,包括船舶的MMSI、经纬度坐标、航速、航向等。根据AIS数据中船用移动识别码(MMSI)、发送的时刻、船舶的位置,结合船舶档案数据库中船舶种类、船旗国等信息,构建船舶*x*的数据模型^[20]可表示为:

$$S_x = (m_x, p_x, t_x, c_x, f_x, gt_x) \quad (1)$$

式中:*m*为船舶的MMSI码;*p*为船舶的位置;*t*为发出AIS数据的时刻;*c*为船舶的种类;*f*为船旗国;*gt*为船舶总吨数。

2.3 研究方法

在本文中从二维的角度对船舶的典型空间分布进行分析:采用细粒度网格交通密度算法完成每个单位时间内经过单位区域内次数的平均值进行计算,构成交通密度图,明确了南海航行船舶的主要航路选择;同时,在航行经过的关键区域设置截面作为门线,计算船舶航迹与门线相交次数,对经过门线的南北向船舶流量进行统计,明确了船舶在主航路上的分布状况。

(1) 细粒度网格交通密度算法

如某个月*m*内栅格*i*的交通密度如式(2)所示。

$$\begin{aligned} \text{TrafficDensity}_i^m &= \frac{\sum_{s=1}^{\text{ship_count}} \text{CrossingCount}_i^s}{\text{Time}_{\text{month}_m} \times \text{Area}_{\text{grid}_i}} \quad (2) \\ &= \frac{\text{CrossingCountSum}_i}{\text{Time}_{\text{month}_m} \times \text{Area}_{\text{grid}_i}} \end{aligned}$$

式中:*Ship_count*表示经过船舶总数目;*CrossingCount_i^s*表示第*s*艘船经过了栅格*i*的总次数;*Time_{month_m}*表示该月的总时间;*Area_{grid_i}*表示栅格*i*的面积;*CrossingCountSum_i*表示所有经过栅格*i*的总次数^[20]。

如图2所示,船舶由*P₁*经过*P₂*到达*P₃*,红色的网格为船舶经过的区域。求船舶交通密度即计算单位时间网格单元内船舶通过量的期望值,当船舶轨迹与网格*i*相交,则*CrossingCountSum_i*加1。通过热图的自适应色谱对式(2)中的交通密度计算结果的渐变进行展示,即显示交通密度随颜色由浅到深递增^[21]。

(2) 轨迹与门线判定相交算法

通过设置航道断面,对来往船舶进行统计发掘交通流规律常被学者所采用^[22]。在本文中门线判定算法基于船舶在时间上相邻的2个位置点的坐标

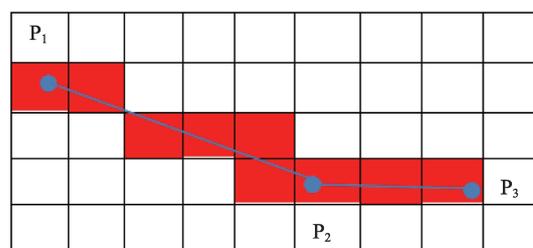


图2 交通密度计算示意图

Fig. 2 Schematic diagram of traffic density calculation

确定的线段(称为航迹向量)与门线的2个端点的坐标确定的线段(称为门线向量)的相对位置,来判定船舶是否经过门线:判断门线向量 $\overline{v_1v_2}$ 和航迹向量 $\overline{v_3v_4}$ 是否相交(图3(a)),则需同时满足以下2个条件:

① 向量 $\overline{v_3v_4}$ 的2个端点在向量 $\overline{v_1v_2}$ 的两侧,即向量积 $\overline{v_1v_2} \times \overline{v_1v_3}$ 与向量积 $\overline{v_1v_2} \times \overline{v_1v_4}$ 异号,如图3(b)所示。

② 向量 $\overline{v_1v_2}$ 的2个端点在向量 $\overline{v_3v_4}$ 的两侧,即向量积 $\overline{v_3v_4} \times \overline{v_3v_1}$ 与向量积 $\overline{v_3v_4} \times \overline{v_3v_2}$ 异号,如图3(c)所示。

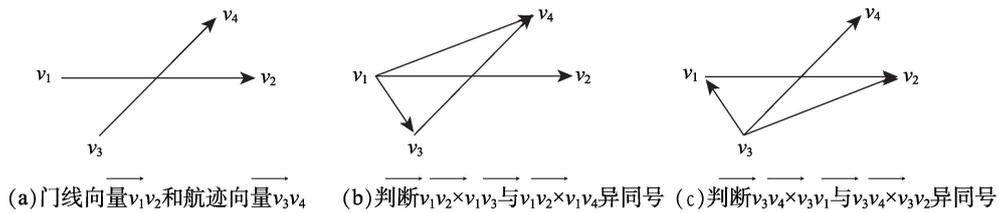


图3 判断 $\overline{v_1v_2}$ 与 $\overline{v_3v_4}$ 相交流程图

Fig. 3 Flow diagram of judging intersection of $\overline{v_1v_2}$ and $\overline{v_3v_4}$

3 南海水域商船典型空间分布研究

3.1 南海商船主要航路选择研究

如图4所示,交通密度图中渐变性的颜色反映典型吨位区间船舶空间分布,南海作为全球贸易大通道,总吨大于10 000船舶为贸易运输的主力,该区间船舶包括巴拿马型及以上的干散货船和油船,3000标准箱(TEU)及以上的集装箱船,船长150 m以上的滚装船与液化天然气与液化石油气(LNG&LPG)船舶。通过计算该吨位区间的交通密度,如图4(a)-(c)所示南海贸易主要航路如下:

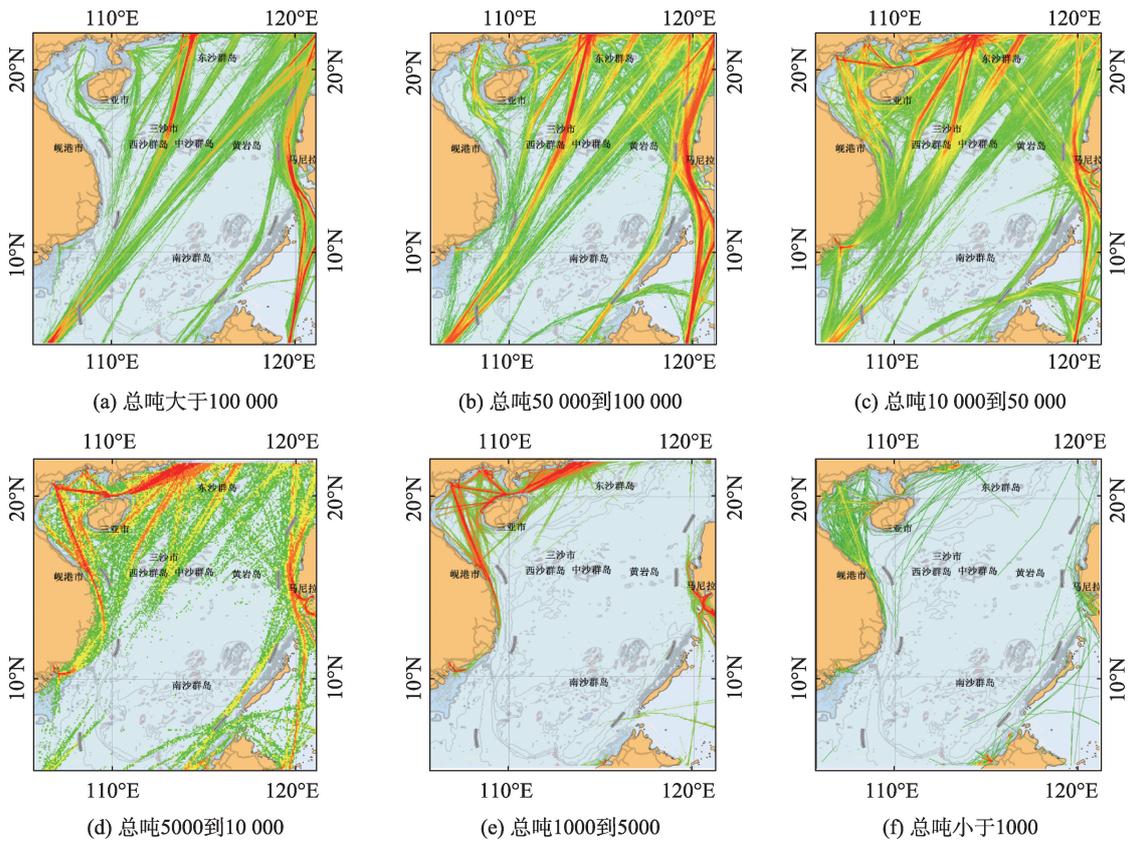


图4 典型吨位区间船舶的交通密度图

Fig. 4 Traffic density maps of ships' gt in different intervals

(1)从台湾海峡或台湾以东经中沙群岛与黄岩岛直接南下到达新加坡的双向航路;

(2)从珠江三角洲经永兴岛、浪花礁到达新加坡的双向航路,也包括在冬季为躲避冷高压而选择永兴岛以西沿越南沿岸到达新加坡的双向航路;

(3)从台湾海峡航行经过东沙群岛以西,在浪花礁与中沙群岛之间,与珠江三角洲前往新加坡的航路交汇,前往新加坡方向的双向航路;

(4)经过台湾海峡或台湾以东经吕宋岛、苏禄海水道到达印尼、澳大利亚的双向航路;

(5)从菲律宾群岛途径巴拉巴克海峡以北前往新加坡方向的双向航路。

从船舶的空间分布来看,主要贸易航路走向与《世界大洋航路》推荐基本相符,证实南海周边的开发并未影响到船舶的运输主航路。巴拉巴克海峡北面、巴拉望水道以西的大片空白区域属于南海中航行复杂,浅滩纵横的区域,船舶空间分布数量稀疏,海图上标记为“Dangerous Ground”即存在大量浅滩与珊瑚礁,船舶交通流异常稀疏符合事实。

非大宗货运运输船舶如吨位5000~10 000的船舶主要包括邮轮、船长100~140 m散货船、集装箱船、油化船、滚装船和LNG&LPG,此类船已具有抗大风浪远海作业的能力,但对于长途大宗运输来说经济性不足,通常不会被选择使用,所以在图4(d)中典型空间分布呈现“外贸兼顾,内贸为主”的特点,南海主航路上的交通密度远小于沿岸区域之间的交通密度;吨位小于5000的船舶,如图4(e)-(f)所示,多以承担港口周边或者短途货物转运的作业为主,此类船舶多分布于沿岸及港口湾区。

3.2 关键门线上船舶典型流量分布

测算船舶在门线的流量,可从横向度量船舶在航路上的空间分布状况。设置的关键门线如下:①设置北纬15°纬线作为门线统计整个南海南北向船舶流量分布;②设置浪花礁至中沙群岛门线统计珠江三角洲及台湾海峡至新加坡间航路船舶流量分布;③设置岷港至永兴岛门线统计北部湾、珠江三角洲港口与南海间航路船舶流量分布;④设置中沙至黄岩岛门线统计从东北亚进新加坡运输主航路的流量分布;⑤设置东沙群岛与吕宋岛北门线,统计从台湾海峡、台湾以东南下的双向航路船舶流量分布;⑥设置台湾至吕宋岛北之间门线,统计经过巴士海峡、菲北海峡的船舶流量分布。如图5所示。

(1)如图5(a)所示北纬15°门线上的南北流量

分布在2个高峰位置,分别为118.5°~120° E区域与112°~113° E区域,前者贴近吕宋岛为南下澳洲、印尼的主要航路所在;后者为浪花礁以南珠江三角洲和台湾海峡前往新加坡航路汇聚结点;

(2)浪花礁与中沙群岛之间流量高峰位置位于(16.1° N, 112.7° E)~(16° N, 113.5° E)范围(图5(b)),并且靠近浪花礁一侧的船舶流量明显较大;

(3)岷港至永兴岛之间存在2个流量高峰位置(图5(c)): (16.2° N, 108.5° E)~(16.2° N, 108.7° E),靠近岷港港区及越南沿岸; (16.5° N, 111° E)~(16.6° N, 111.2° E)区域,为珠江三角洲船舶南下马六甲的冬季航线的穿越范围;

(4)中沙群岛至黄岩岛门线数量高点位于(15.6° N, 115.5° E)~(15.5° N, 115.9° E)范围内,如图5(d)所示;

(5)东沙群岛与吕宋岛北门线数量高点在(19.5° N, 118.8° E)~(18.6° N, 120.4° E)的区域,如图5(e)所示;

(6)台湾至吕宋岛北之间门线,覆盖巴士海峡、菲北海峡,如图5(f)所示,门线船舶数量分布均匀,流量高峰靠近台湾以南到巴士海峡,在(21.2° N, 120.6° E)~(21.4° N, 120.6° E)区域。

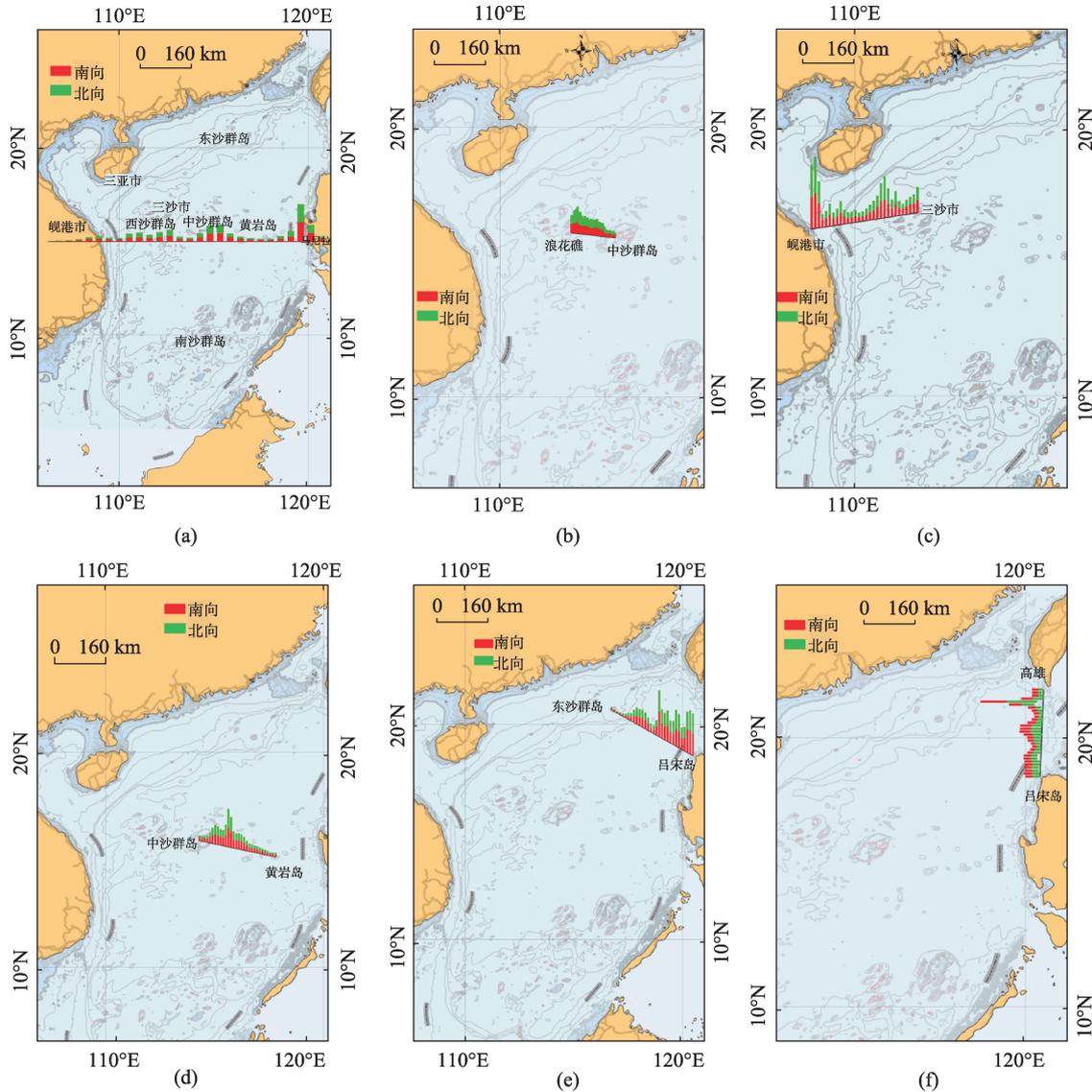
4 南海典型货物的贸易流向分析

典型船型船舶的航路选择反映了该地区贸易的主要流向,图6中4种类型船舶的空间分布所代表的贸易流向具有一定相似性,即贸易以跨越整个南海的远洋运输为主,并且中国的珠江三角洲也是这4种货物流向的重要端点。但由于货物类型的不同,流向也存在一定的差异性,其中:

(1)干散货船的空间分布与其他3种类型船舶不同,沿吕宋岛南下苏禄海更加明显,此航路通常被东北亚南下澳洲、印尼的船舶所选择,占南海干散货贸易的主导;

(2)集装箱船的典型分布体现明显的“Hub to Hub”的贸易方式,即马六甲海峡与珠江三角洲地区作为世界重要集装箱枢纽港聚集区域之一,整个南海的集装箱船基本围绕这2个地区之间来回运输;而马尼拉,岷港、胡志明市作为地区的枢纽中心,与这两个地区的贸易交往也频繁于与其他地区;

(3)油化品和滚装汽车运输相对前二者比较特殊,由于货物的进出口港码头设计要求高,港口无



注:绿色柱表示北向穿越数量;红色柱则表示南向穿越数量

图5 南海船舶通过数量门线统计图

Fig. 5 Charts of vessels crossing statistics lines in South China Sea

法像干散货与集装箱具有广泛地区分布性,以中国为例目前仅列部分港口负责集中进口;通常这2类货物到达进口码头后,再通过陆路或者管道方式转运,所以贸易流向相对固定。从图6(c)-(d)中可以看出,相对前2类船舶,这2类船舶在沿岸的空间分布较稀疏,主要分布在南海运输的主航路上。

5 结论与讨论

本文基于2015年的AIS数据,分析“21世纪海上丝绸之路”重要组成—南海上船舶的典型空间分布与贸易流向,结论如下:

(1)本研究明确了南海商船的典型空间分布,即船舶航行的主要航路与《世界大洋航路》推荐航路保持一致,南海的开发建设并未对航行造成影响。海事部门可以基于此成果制定南海的分道通航制保障船舶安全。

(2)海上贸易运输以跨越南海的长距离运输为主,中国的珠三角地区也成为贸易流向的最重要端点之一,客观的论证了在“海上丝绸之路”倡议下中国在南海贸易中的优势地位。

(3)由于南海管理水域广阔,在目前海上监管力量相对有限的情况下,结合无人机等新兴技术着重对航路重要交汇区域(如浪花礁等)及流量分布

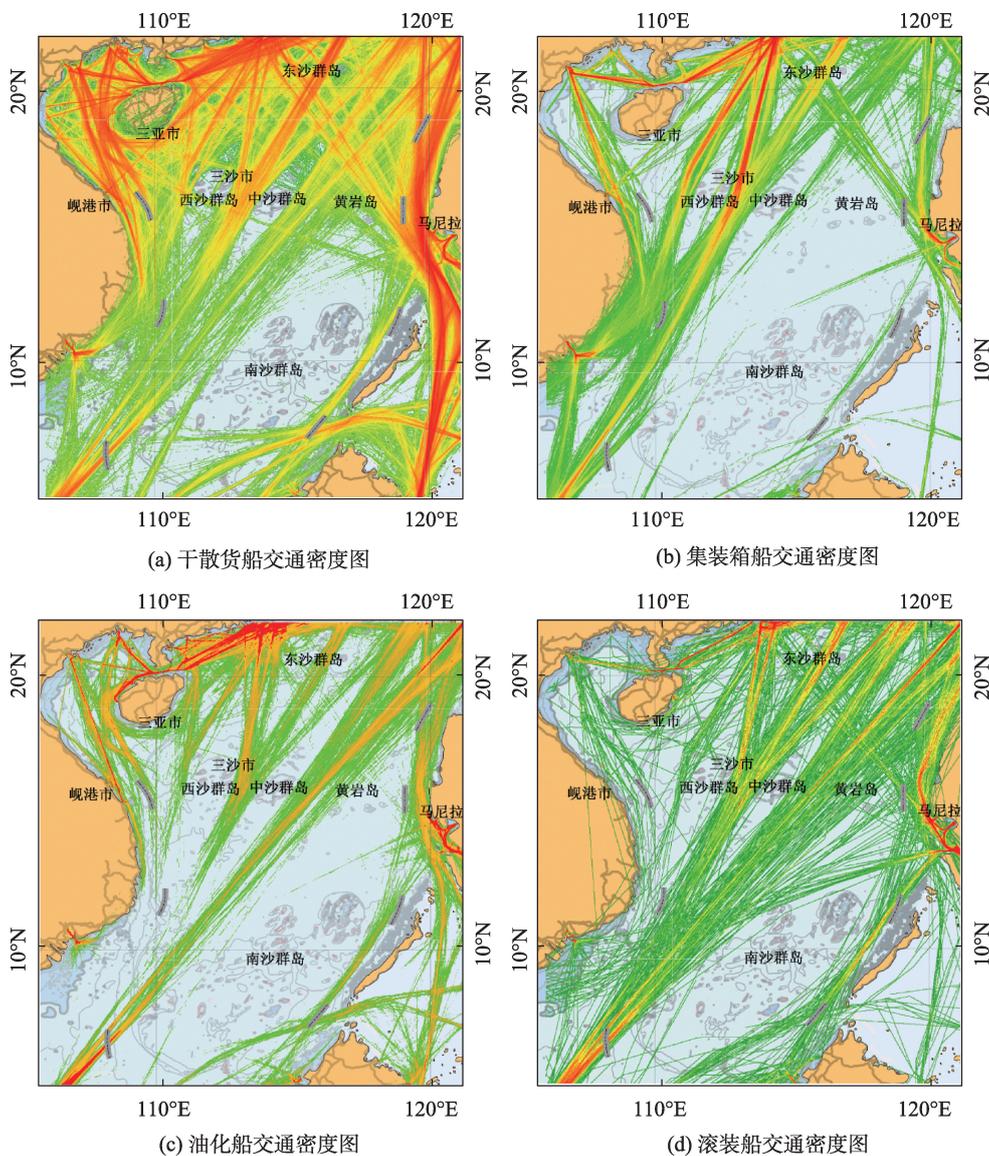


图6 4种主要船型船舶交通密度图

Fig. 6 Traffic density maps of four main types of vessels

高峰区域实现监控能充分发挥效率;海事部门可根据备选位置与南海主航路之间的可达性对搜救基地选址进行充分考虑,防止船舶发生意外而搜救不及时产生更大的人命与生态风险。

(4)不仅是珠江三角洲地区,广西的北部湾港口与海南的沿岸港口也是“21世纪海上丝绸之路”上重要节点,但是从目前分析的货物流向上看这些地区与珠江三角洲相比优势并不明显,这就需要认真调研的原因,争取多开辟航线将港口资源使用达到最大化。

参考文献(References):

[1] Zhong H, White M. South China Sea: Its importance for

shipping, trade, energy and fisheries[J]. *Asia-Pacific Journal of Ocean Law and Policy*, 2017,2(1):9-24.

[2] 石伟,苏奋振,周成虎,等.南沙岛礁及周边港口可达性评价模型研究[J].*地理学报*,2014,69(10):1510-1520. [Shi W, Su Z F, Zhou C H, et al. Research on accessibility model of Nansha Islands and surrounding seaports[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014,69(10):1510-1520.]

[3] 张君珏,苏奋振,周成虎,等.不同海岸地貌背景下的南海周边岸带35年建设用地扩张分析[J].*地理学报*,2016,71(1):104-117. [Zhang J J, Su Z F, Zhou C H, et al. Construction land expansion in coastal zone around the South China Sea based on different geomorphologic backgrounds in the past 35 years[J]. *Acta Geographica Sinica*,2016,71(1):104-117.]

- [4] 郑彤,唐议.中国南海区海洋捕捞渔船现状分析[J].上海海洋大学学报,2016,25(4):620-627. [Zheng T, Tang Y. Analysis of current status of Chinese marine fishing fleet of South China Sea area[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016,25(4):620-627.]
- [5] 何学贤,彭子成,王兆荣,等.利用珊瑚的影像密度恢复南海海表温度[J].地理学报,2000,55(2):183-190. [He X X, Peng Z C, Wang Z R, et al. Reconstructing of sea surface temperature in South China Sea by using image density of coral X-ray photograph[J]. Acta Geographica Sinica, 2000,55(2):183-190.]
- [6] Ouyang C F, Yen M C, Lin T H, et al. Impact of equatorial and continental airflow on primary greenhouse gases in the northern South China Sea[J]. Environmental Research Letters, 2015,10(6):065005.
- [7] Sibuet J C, Yeh Y C, Lee C S. Geodynamics of the South China Sea[J]. Tectonophysics, 2016,692:98-111.
- [8] 轩少永,黎法明,胡甚平,等.广州港水域船舶航行风险评估[J].中国航海,2013,36(4):96-99. [Xuan S Y, Li F M, Hu S P, et al. Risk assessment of ship navigation in Guangzhou Harbor[J]. Navigation of China, 2013,36(4):96-99.]
- [9] 杜磊,文元桥,李正强,等.水上交通宏观态势评估模型[J].大连海事大学学报,2016,42(1):27-33. [Du L, Wen Y Q, Li Z Q, et al. Marine traffic macroscopic situation assessment model[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2016,42(1):27-33.]
- [10] Qu X, Meng Q, Suyi L. Ship collision risk assessment for the Singapore Strait[J]. Accident, analysis and prevention, 2011,43(6):2030-2036.
- [11] Weng J, Meng Q, Qu X. Vessel collision frequency estimation in the Singapore Strait[J]. Journal of Navigation, 2012,65(2):207-221.
- [12] 汤敏惠.南海定线制规划[J].珠江水运,2014(21):76-78. [Tang H M. TSS scheduled in South China Sea[J]. Pearl River Shipping, 2014(21):76-78.]
- [13] Admiralty. Ocean passages for the World (NP136)[M]. London: United Kingdom Hydrographic Office. 2014:169-210.
- [14] 中国航海学会,上海海事大学.南海航行研究报告. [EB/OL]. <http://www.shmtu.edu.cn/node/6463>. China Institute of Navigation, Shanghai Maritime University. Research Report on Navigation status in the South China Sea[EB/OL]. <http://www.shmtu.edu.cn/node/6463>.
- [15] Harm G, Marlene A, Torkild E, et al. Completeness and accuracy of a wide-area maritime situational picture based on automatic ship reporting systems[J]. Journal of Navigation, 2016,69(1):156-168.
- [16] Vespe M, Greidanus H, Alvarez M A. The declining impact of piracy on maritime transport in the Indian Ocean: Statistical analysis of 5-year vessel tracking data[J]. Marine Policy, 2015,59:9-15.
- [17] Chen J, Lu F, Peng G. A quantitative approach for delineating principal fairways of ship passages through a strait [J]. Ocean Engineering, 2015,103(103):188-197.
- [18] 中华人民共和国海事局.南中国海至马六甲海峡航行指南[M].北京:人民交通出版社,2017:1-5. [China Maritime Safety Administration. Sailing direction from South China Sea to Malacca Strait[M]. Beijing:China Communication Press, 2017:1-5.]
- [19] 李丽娜.航海自动化[M].北京:人民交通出版社,2012:198-214. [Li L N. Navigation Automation[M]. Beijing: China Communication Press, 2012:198-214.]
- [20] Lin W, Xu Y, Qi W, et al. Mapping global shipping density from AIS Data[J]. Journal of Navigation, 2016,70(1):67-81.
- [21] 宁建强,黄涛,刁博宇,等.一种基于海量船舶轨迹数据的细粒度网格海上交通密度计算方法[J].计算机工程与科学,2015,37(12):2242-2249. [Ning J Q, Huang T, Diao B Y, et al. A fine grained grid-based maritime traffic density algorithm for mass ship trajectory data[J]. Computer Engineering and Science, 2015,37(12):2242-2249.]
- [22] 李红祥,方逊.基于AIS的船舶交通流量统计方法研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2011,35(4):853-857. Li H X, Fang X. Statistical method research of vessel traffic flow based on AIS[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2011,35(4):853-857.