

学校代码： 1 0 2 6 4  
研究生学号： M130350713

# 上海海洋大学

## 硕士学位论文

题    目： 基于北斗卫星渔船监测系统的浙江省  
近海渔船捕捞方式和作业渔场分析

英文题目： Analysis of fishing methods and fishing  
ground of Zhejiang Province fishing  
boats based on the Beidou satellite  
vessel monitoring system

专    业： 渔业

研究方向： 船位数据分析

姓    名： 郑巧玲

指导教师： 樊伟 研究员

二〇一六年五月二十七日

## 上海海洋大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期：     年     月     日

## 答辩委员会成员名单

姓名	工作单位	职称	备注
答辩地点		答辩日期	
学位评定分委员会意见：			
学位评定分委员会主席（签字）： 年 月 日			

注：答辩委员会成员至少由 3 人组成，填报 5 人，至少 2 人为硕导（校外至少填报 1 人），另设秘书 1 人，注：评阅人和答辩委员重复不超过 1 人。

# 基于北斗卫星渔船监测系统的浙江省近海渔船 捕捞方式和作业渔场分析

## 摘要

渔船监控系统(vessel monitoring system , VMS) 是基于全球定位系统、卫星通讯系统、地理信息系统和计算机网络等技术对渔船进行实时监测和管理的信息服务系统, 目前已被世界各国广泛应用于海洋渔船监测和管理当中。2000 年我国自主研发的北斗卫星定位导航系统开始投入使用, 基于北斗卫星的 VMS 由北斗卫星导航系统、北斗运营服务中心、岸上监控中心和船载终端四个部分组成, 当前我国近海约 4 万艘渔船已完成北斗客户端的安装。北斗 VMS 能够提供实时的位置、航速、航向、作业时间信息以及对应的渔船属性信息如归属地、船名、许可证、网具类型、功率等, 该类信息对监测渔船的捕捞行为、保障渔业生产安全、掌握渔业资源变动、缓解海洋权益争端等问题有重要意义。

本研究采用 2014 年我国北斗卫星渔船监测数据, 渔船属性数据、近海渔场数据、2009~2013 年台风数据和渔业生产数据, 并结合数理统计和 BP 神经网络模型, 借助 ARCGIS 可视化软件、R 语言和 MATLAB 建模工具完成了北斗渔船总量、捕捞类型、地区分布的统计, 以浙江省拖网、流刺网和张网渔船为例研究不同捕捞类型渔船的航速、航向及轨

迹特征,同时对浙江省拖网渔船的主要捕捞位置、捕捞强度的年际变动以及台风对渔船作业状态的影响等进行了分析。即本研究以期利用北斗 VMS 数据从渔船概况、捕捞类型、作业特征、作业渔场、捕捞强度、作业安全共 6 个角度对我国北斗船位数据进行分析 and 挖掘,在探索北斗船位数据价值的同时为渔业资源管理和渔业生产安全提供一定的参考。本研究的结果主要包括以下几个方面:

1) 根据我国渔船命名规则对北斗 VMS 数据进行统计,北斗渔船约 35500 艘,捕捞类型共八种,渔船主要来自 13 个省市。浙江省渔船最多为 9710 艘,作业类型包括拖网、刺网、张网、围网、笼壶、杂渔具和钓具共 7 种,主要捕捞方式为拖网,其次为刺网。

2) 相关性分析认为浙江省拖网、流刺网和张网渔船各自的航速、航向变化在航行和捕捞过程中存在一定的同步性,仅张网渔船的航速、航向之间存在相关系数为-0.059 的显著的弱相关性。当船长为 27 米,功率为 200 千瓦时,拖网渔船作业速度为 2~6 节,航行速度为 8~10 节;流刺网渔船作业速度为 1~2 节,航行速度为 8~10 节;张网渔船作业航速为 0~8 节,航行时速度为 9 节左右。

3) ARCGIS 可视化分析显示拖网、流刺网和张网渔船的轨迹变化差异明显。流刺网、张网渔船各自的经度和纬度之间存在相关系数分别为 0.54 和 0.6 的显著的相关性,拖网的经度和纬度之间仅存在相关系数为-0.086 的显著的弱相关性。流刺网、张网渔船的经纬度变化具有同

步性，可用于判断作业航次、作业状态等特征；拖网渔船的经度和纬度中仅有一个变化较为显著。

4) BP 神经网络模型结合航速、航向可用于拖网、流刺网和张网渔船的捕捞方式识别，总体识别精度大于 90%。航速的分类效果优于航向，且二者对拖网渔船的分类效果最好平均精度约 97%，其次是张网渔船平均分类精度约 95%，流刺网渔船的平均分类精度约 70%。

5) 基于 ARCGIS 和经纬度数据得到浙江省拖网渔船近海作业主要位于鱼山渔场、温台渔场、闽东渔场、长江口渔场、舟外渔场、江外渔场和沙外渔场。即以东海的鱼山渔场、闽东渔场为中心、具有较高的捕捞强度和较多的作业时间段、向北至石岛渔场和石东渔场、捕捞强度和作业时间段都较小，向南至东沙渔场、台湾南部渔场，仅 3 月和 4 月份有作业。

6) 基于台风、VMS 和渔船险情数据分析显示台风引起的渔船险情多发生在港口附近，且台风造成的人员伤亡和财产损失要远远大于其它险情。为了更好的应对台风威胁，保障渔业生产中的生命和财产安全，应将实时的 VMS 数据与台风预警系统结合，开发渔船台风预警系统加强渔船躲避台风险情的能力。

**关键词：**北斗渔船监控系统；捕捞类型；捕捞强度；渔场；渔业生产安全

# **Analysis of fishing methods and fishing ground of Zhejiang Province fishing boats based on the Beidou satellite vessel monitoring system**

## **ABSTRACT**

The vessel monitoring system is an information service system based on the global positioning system, satellite communication system, geographic information system and computer network technology to the fishing for real-time monitoring and management, has now been widely used around the world in monitoring and management of marine fishing. Beidou satellite navigation and positioning system that developed by China began to put into use in 2000, It consists of Beidou satellite navigation system, compass service center operations, shore monitoring center and ship borne terminal four part composition, at present about 4, 000 fishing boats has finished the Beidou client installation in China's offshore. Beidou satellite vessel monitoring system can real-time provide fishing location, speed, heading, operation time and the corresponding attribute information such as attribution, vessel name, license, nets and types, and the power. It is important to monitoring the action of fishing, grasp the dynamics of fishery resources, to protect fishermen fishing safety and standard, to protect the fishery production safety, ease of fishery resources recession and maritime rights and interests disputes.

This study according to the 2014 China's Beidou satellite vessel monitoring data, fishing boats attribute data, the inshore fisheries data, 2009 to 2013 typhoon data and fishery production data by mathematical statistics

and BP neural network model, with ArcGIS visualization software and R language and MATLAB modeling tool to complete the Beidou total fishing boats, fishing type, regional distribution analysis. Select Zhejiang Province trawl, gillnet and stow net to study the difference of fishing boats speed, heading and track features. At the same time, the main fishing position, the interannual variation of the fishing intensity and the influence of the typhoon on the state of the fishing vessels in Zhejiang province were analyzed. All in all, this study in order to use Beidou VMS data from the summary of fishing boats, fishing types, task characteristics, fishery, fishing intensity, safe operation a total of six angles to analysis and mining the fishing production data in China, in exploring the Beidou position data value and fishery resources tube and fisheries production safety to provide certain reference. The results of this study include the following aspects:

1) According to the rules of the naming of Chinese fishing vessels and the VMS data, the number of Beidou boats is 35500, including eight types of homework, fishing boats mainly from 13 provinces, Zhejiang Province up to 9710, including trawl, gillnet, network, purse seine, pot, miscellaneous fishing gear and fishing tackle, a total of seven kinds, mainly fishing for trawl, followed by gill net.

2) Correlation analysis that between fishing boats operating characteristics of trawl, flow gillnet and stow net fishing vessel of Zhejiang Province, speed and heading in the continuous changing process are synchronous, but no significant correlation. When the captain is 27 meters, power of 200 kW and trawlers operating speed for 2 ~ 6 knots, sailing speed for 8 to 10 knots; flow gillnet fishing boats operating speed for 1 ~ 2 knots, sailing speed for 8 to 10 knots; stow net fishing speed 0 ~ 8 knots, sailing speed of 9 knots.



3) Using ArcGIS to finish visualization of fishing operation trajectory. The results showed that the latitude and longitude changes and spatial trajectory are significant difference in trawls, flow gill nets and fishing nets. Correlation analysis showed that the correlation coefficient of longitude and latitude for glow gill net and stow net were respectively 0.54 and 0.6, trawling for -0.086. Gill net, stow net fishing variations in latitude and longitude is synchronous, used to judge the voyage job, working status, and other characteristics; the longitude and latitude of the trawler only one change is more significant. There may be some synchronization between the speed and the course of the three operation modes, but there is no obvious correlation.

4) Select speed, heading as input factors to construct BP neural network model, to identify fishing mode of trawls, flow gill nets and stow net, the overall recognition accuracy greater than 90%. The classification effect of speed is better than the azimuth, trawler classification results superior to stow net fishing vessel, classification effect of flow gill net fishing boat is the worst, correct rate of about 73%.

5) The Zhejiang Province trawlers operating position and China offshore fishing grounds are matched with the help of ArcGIS, the main offshore fishing grounds of Zhejiang Province trawlers is Yushan fishing ground, temperature and Taiwan fishing ground, Mindong Fishing Ground, followed by the mouth of the Yangtze River fisheries. The main sea fishing boat fishery is zhouwai, jiangwai and shawai fishery. The temporal and spatial distribution of the main features from the north to the south, wide in the middle, two narrow banded distribution. That in the East China Sea as the center, with high fishing intensity and more homework time, north to Shidao Fisheries and Shidong fishing, fishing intensity and work time are

small, South to Dongsha fishing grounds, Taiwan Southern fisheries, only in March and April homework.

6) To match typhoon data and VMS data and fishing data, found that the danger caused by typhoon most occurred in the vicinity of the port, and the casualties and property losses caused by the typhoon is far greater than the other danger. In order to better cope with the typhoon threat, to protect life and property safety of fishery production should raise fishermen's production skills, strengthen fishing regulation, to exploit fishing vessels typhoon warning system and improve dangerous rescue system.

**Key words:** beidou vessel monitoring system; fishing type; fishing intensity; fishing ground; fishery production safety

## 目录

第一章 引言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的和意义.....	3
1.3 国内外研究现状.....	3
1.3.1 国外研究现状.....	3
1.3.2 国内研究现状.....	4
1.4 研究内容和技术路线.....	5
1.4.1 研究内容.....	5
1.4.2 技术路线.....	7
第二章 材料与方法.....	8
2.1 北斗 VMS 数据介绍.....	8
2.2 数据预处理.....	9
2.2.1 航速数据预处理.....	9
2.2.2 航向数据预处理.....	9
2.3 数据分析模型.....	9
2.3.1 BP 神经网络模型.....	9
2.3.2 相关系数和显著性检验.....	12
2.3.3 拖网渔船捕捞强度模型.....	13
第三章 渔船统计和分类研究.....	14
3.1 渔船总体概况.....	14
3.1.1 我国渔船概况.....	14
3.1.2 我国北斗渔船概况.....	15
3.1.3 浙江省渔船概况.....	16
3.2 渔船作业特点.....	18
3.2.1 拖网渔船.....	18
3.2.2 张网渔船.....	18
3.2.3 刺网渔船.....	19
3.3 渔船航速、航向特征.....	20
3.3.1 拖网渔船.....	20
3.3.2 流刺网渔船.....	21
3.3.3 张网渔船.....	22
3.4 渔船轨迹分析.....	24
3.4.1 渔船轨迹特征.....	24
3.4.2 渔船作业经纬度分析.....	26
3.4.3 航速、航向及经纬度相关性.....	29
3.5 基于 BP 神经网络的渔船捕捞类型识别.....	30
3.5.1 基于 BP 网络的渔船捕捞研究进展.....	30
3.5.2 渔船数据预处理.....	31

3.5.3 神经网络训练 .....	32
3.5.4 结果分析 .....	33
3.5.5 讨论 .....	34
第四章 浙江省拖网渔船作业渔场分析 .....	36
4.1 拖网渔船作业位置分布 .....	36
4.2 拖网渔船捕捞强度时空变化 .....	40
4.3 渔船作业渔场台风情况 .....	46
4.3.1 台风数据 .....	47
4.3.2 渔场台风统计 .....	47
4.4 台风对渔船作业影响分析 .....	51
4.4.1 台风过程渔船轨迹变化 .....	51
4.4.2 台风引起的渔船险情分析 .....	53
4.4.3 小结 .....	55
第五章 总结与展望 .....	57
5.1 总结 .....	57
5.2 展望 .....	59
参考文献 .....	60
致谢 .....	64

## 第一章 引言

### 1.1 研究背景

海洋渔业生产作为传统农业的扩展不仅可以为人类提供较为丰富的食物资源,增加劳动者的收入,也在很大程度上缓解了仅依靠土地生产带来的压力<sup>[1]</sup>。渔船作为渔业生产的重要工具已随着中国工业化革命和科学技术的发展从最初的舟筏风帆时代跨入了机械化时代,逐渐由木质走向钢质,由天象航海走向智能化航海,真正实现了其向动力化、机械化、钢质化和信息化的转变<sup>[2]</sup>。截止 2014 年我国共有机动生产渔船 66.36 万艘,其中捕捞渔船 45.24 万艘,总功率为 1769.31 万千瓦,养殖渔船 21.21 万艘,总功率 249.67 万千瓦;机动渔船中的海洋机动渔船 28.33 万艘,其中海洋捕捞渔船 19.68 万艘,总功率 1361.4 万千瓦,较上年增加 2600 艘<sup>[3]</sup>。海洋捕捞渔船主要分布在南海、东海、黄海、渤海等近海海域作业,少部分远洋渔船远赴太平洋、印度洋等海域进行远洋捕捞。

当前我国海洋渔业发展面临诸多问题,(1)近海捕捞能力过剩,渔业资源衰退严重。从 1980 年代中期开始,传统渔业捕捞对象近乎绝迹,中小型的中上层鱼类占总捕捞产量的 60% 以上,渔业资源结构发生了较大变化<sup>[4]</sup>。虽然近海捕捞产量增长趋势得到一定程度遏制,但渔业资源状况仍处于下降趋势,严重影响了渔业资源的可持续利用。(2)海洋渔业生态系统破坏严重。拖网作为中国沿海渔船作业最主要的捕捞方式之一,其带来的海洋生态破坏也较为严重,尤其是底层拖网,其所到之处无论是鱼类、藻类还是海洋生物都不可避免的遭到损害,有些生物和藻类的生长史漫长,一旦毁坏将面临消失的危险。在作业过程中丢弃或者遗失的刺网和围网网具会在海里漂浮,造成渔船险情或者意外的物种死亡。目前全球由丢弃的网具造成的渔业损失和渔船事故已引起较高的关注,对远洋捕捞过程中的流刺网使用已有相关立法约束。(3)渔船监管力度不够,安全事故频发。渔业作为公认的风险大、

死亡率高的产业,全球每年每 10 万名渔民中有 80 人死于各种事故<sup>[5]</sup>,我国渔船船员死亡率比煤矿工高 2 倍以上,大约每 10 万人中会有 160 人死亡<sup>[6]</sup>。(4)救援体系不完善,渔船险情救助困难。渔船险情主要由碰撞、台风、海浪等外部环境以及不正规的操作等原因导致。渔业生产中的海难事故频发,外加海洋的环境比较复杂,险情救助相比其它行业也较为困难,很难做到及时救援,充分保障渔民的生命和财产安全。(5)海洋权益争端频发。渔权即海权,已经成为海洋权益的表现形式之一,中国在一些敏感海域的渔权、海权不断受到一些国家的侵略和挑战<sup>[7]</sup>。

以上有关渔业资源、渔业生态、生产安全、海上救助和海洋权益争端等问题均与渔船密切相关,在弱化或解决以上矛盾及问题的过程中需要通过对作业渔船进行合理的监控和管理,加强渔船作业的合法性和安全性。目前,基于全球定位系统、卫星通讯系统、地理信息系统和计算机网络等技术的海洋渔船监控系统(vessel monitoring system ,VMS)是保障渔船海上航行和作业的有利武器<sup>[8]</sup>,同时也是管理渔船最主要的信息化手段之一。其能够实时地获取和存储船舶的位置和状态信息,并借助网络通讯传送至陆地监控中心,从而实现船舶和陆地监控中心的信息交互<sup>[9]</sup>。由于卫星定位和网络通讯是决定 VMS 时效性和精确性的关键,目前主流的卫星定位主要采用美国 GPS 卫星导航定位系统,网络通讯主要以 Inmarsat-C 和 ARGOS 系统为主<sup>[10]</sup>。2000 年我国自主研发的北斗卫星定位导航系统开始投入使用,基于北斗卫星导航的 VMS 主要由北斗卫星导航系统、北斗运营服务中心、岸上监控中心和船载终端四个部分组成<sup>[11-12]</sup>。北斗 VMS 除了能够实时的提供渔船的位置、航速、航向、作业时间信息,还具有对应渔船的属性信息,包括归属地、船名、许可、网具类型、功率等。北斗 VMS 数据结合渔船属性数据及对应的渔业生产和海洋环境数据,利用数学模型、机器挖掘等方法可对渔业生产数据进行分析,用于监测渔船的捕捞行为,掌握渔业资源变动,保障渔民捕捞的安全性和规范性,避免不合法的跨界捕捞而造成的争端和损失。因此,基于 VMS 的渔船数据分析和挖掘对于解决渔业资源衰退、海洋渔业生态环境、渔业生产安全、海上救助和海洋权益争端等问题具有重要意义。

## 1.2 研究目的和意义

北斗船位数据具有高时空分辨率、近实时性的特点，能够弥补渔业生产数据获取周期长、精度低的缺点，但 VMS 数据并不能够直接的给出渔船捕捞方式、作业状态、捕捞强度、渔场变动等信息，因此需要借助实时的航速、航向、位置和时间信息以及渔船长度、功率、归属地等基本属性信息根据需要进行进一步的分析。本研究的目的是以期利用北斗 VMS 数据从渔船概况、捕捞类型、作业特征、作业渔场、捕捞强度、作业安全共 6 个角度对我国渔船生产数据进行分析 and 挖掘，在探索北斗船位数据价值的同时为渔业资源管理和渔业生产安全提供一定的参考。

## 1.3 国内外研究现状

### 1.3.1 国外研究现状

20 世纪末期，世界性的传统经济渔业资源出现衰退的现象引起了较高的国际关注度，各国纷纷为此加强了渔业资源养护和管理。但依靠人为在海上调查和岸上监督的传统方式存在明显缺陷，无法满足实时准确的渔业资源管理需求。1988 年，葡萄牙首次开发了用于记录渔船位置的 MONICAP 系统，从而提高了对渔船监控的时效性。随后 MONICAP 系统被用于监控渔船作业的合法性以辅助渔业资源保护和管理，随着系统模块的不断优化和扩展 VMS<sup>[13]</sup>逐渐形成。此后，澳大利亚、新西兰、美国、法国等国家将 VMS 用于本国 30~50 m 中等尺度渔船中，1996 年欧盟规定成员国渔船长度不小于 24 m 时均需要配备 VMS<sup>[14]</sup>，截止 2012 年，渔船长度达到 12m 时已需要安装 VMS<sup>[15]</sup>。

目前，国外将 VMS 数据、渔业生产数据以及海洋环境数据结合进行的相关研究已较多，包括渔船生产安全、渔船捕捞方式、渔场变动、渔业资源分布、打击非法捕捞、渔业资源管理和养护、海洋生态环境保护等方面。渔船捕捞状态方面，Witt 等人<sup>[16]</sup>使用 VMS 数据中的航速作为变量，提取航速阈值用于判断渔船的作业和航

行状态;Deng 等人<sup>[17]</sup> 综合了航速和航向阈值对渔船的作业和航行状态进行分析,航向的使用使预测精确性得到了提高。Joo 等人<sup>[18]</sup>借助人工神经网络模型对渔船的航行和作业状态进行识别,对 Witt、Deng 等人的算法进行了进一步的修正和改进,预测精度达到 76%。针对渔船捕捞行为特征,可将 VMS 数据和渔业生产数据进行结合,计算捕捞努力量的时空分布。Russo 等人<sup>[19]</sup>使用贝叶斯模型和 VMS 数据对捕捞努力量和捕捞行为之间的相关性进行了分析。Joo 等人<sup>[20]</sup>使用 VMS 数据重构了秘鲁鳀鱼围网渔船的轨迹,通过聚类分析方法识别出了渔船航行、寻找鱼群和捕捞的状态,并对不同状态下渔民选择行为的变化进行了研究。渔场动态变化方面,Mendes 等人<sup>[21]</sup>将 VMS 数据与渔业生产数据结合并利用 Discrete Choice Model 模型分析了葡萄牙近海拖网渔船的轨迹范围与渔场变动的关系。Jennings 等人<sup>[22]</sup>根据 VMS 数据研究出的渔船作业范围的变化对英格兰和威尔士西南海岸的渔场范围及其边界进行了重新定义。由于渔船的捕捞强度直接影响到海洋生态环境和海洋生物资源的稳定,因此分析捕捞强度与海洋环境的关系具有重要意义。一般利用 VMS 数据来计算单位时间、单位面积水域内渔船捕捞所做的功,可以得到渔船的捕捞强度。相对而言,由于拖网渔船尤其是底层拖网渔船作业的特殊性,会对作业过程中的海底环境造成严重的破坏,目前有关于海洋渔业生态环境的研究主要集中于拖网捕捞。Lambert 等人<sup>[23]</sup>利用 VMS 数据估算了英国马恩岛扇贝底拖网船捕捞强度的分布状况并定量的分析了拖网捕捞对相关海域生态环境的影响。Hinz 等人<sup>[24]</sup> 分析了爱尔兰坎布里亚海岸挪威龙虾拖网渔船的拖网次数和拖拽范围,将其与实地海底采样相结合,得到底拖网对该海域生态环境和生物多样性的影响。VMS 在辅助渔业资源管理方面的作用 Chang<sup>[25]</sup>给出了较为详细的说明,其认为 VMS 扩大了渔船数据的覆盖范围、提高了渔船位置信息的精确性和时效性、提供了独立计算捕捞努力量的条件。

### 1.3.2 国内研究现状

为了进一步保障渔业生产作业的安全性、推进渔业资源管理的时效性,我国正大力推进卫星船位监控系统的安装和使用,目前远洋渔船已安装海事卫星终端,初



步实现了远洋渔船的监控。针对渔船捕捞生产安全事故频发的近海渔船,相关海区渔政管理部门和各省市区渔业管理机构,根据需求开发并构建了不同的渔船监测系统和渔业生产安全管理救助系统,如基于北斗卫星的南沙渔船生产救助系统、基于 AIS 的渔船避碰系统等<sup>[4]</sup>。截止 2016 年,中国北斗卫星渔船监控系统已经发展了近 10 年,近海约 4 万艘渔船已安装北斗终端,VMS 数据包括渔船的经度、纬度、航速、航向、数据发送时间等,其报位频率约 3 分钟,定位精度约 10 米<sup>[26, 27]</sup>,已基本满足渔船各项数据分析的需求。目前,国内基于 VMS 数据对渔船进行的研究较少,已有研究主要集中在渔船航迹分析、航速阈值及航向阈值的提取、捕捞状态的判断,捕捞努力量的空间分布四个方面<sup>[28]</sup>。对于渔船作业方式、渔船捕捞类型、作业渔场分布、渔船生产安全以及 VMS 数据的处理模型和复杂算法等方面尚未涉及或者涉及内容极少。本研究将从渔船概况、捕捞类型、作业特征、作业渔场、捕捞强度、作业安全共 6 个角度对我国北斗渔船生产数据进行分析和挖掘,在探索北斗船位数据价值的同时为渔业资源管理和渔业生产安全提供一定的参考。

## 1.4 研究内容和技术路线

### 1.4.1 研究内容

本研究采用 2014 年我国北斗卫星船位监测数据,渔船属性数据、近海渔场数据、2009~2013 年台风数据,部分浙江省渔业生产数据,结合数理统计和 BP 神经网络模型并借助 ARCGIS 可视化软件、R 语言和 MATLAB 建模工具完成了对我国北斗渔船总量、捕捞类型、地区分布的统计。以浙江省拖网、流刺网和张网渔船为例研究不同捕捞类型渔船的航速、航向及轨迹特征,同时对浙江省拖网渔船的主要捕捞位置、捕捞强度的年际变动以及台风对渔船作业状态的影响等进行了分析。具体分为五章:

第一章为引言,主要介绍研究的背景、目的和意义,以及目前国内外利用卫星船位监测数据在渔船生产、安全等方面进行的相关研究现状。

第二章为材料与方法，主要介绍北斗卫星船位监测系统的字段参数、数据来源、数据处理的模型和算法，包括航速、航向数据预处理、神经网络模型的构建以及渔船捕捞强度的计算模型等。

第三章为渔船统计和分类研究，首先对我国北斗渔船概况进行统计分析，以浙江省拖网、流刺网和张网渔船为例，对渔船的航速、航向、轨迹、经纬度进行探索性分析。

第四章为渔船作业渔场分析，以浙江省拖网渔船为例对渔船的主要作业渔场进行追踪，计算渔船捕捞强度的时空变化，台风对渔船作业位置变动和渔船险情的影响。

第五章为总结和展望，总结了研究的主要内容，说明了研究的不足，进一步分析了后期的研究方向和待解决问题。

#### 1.4.2 技术路线

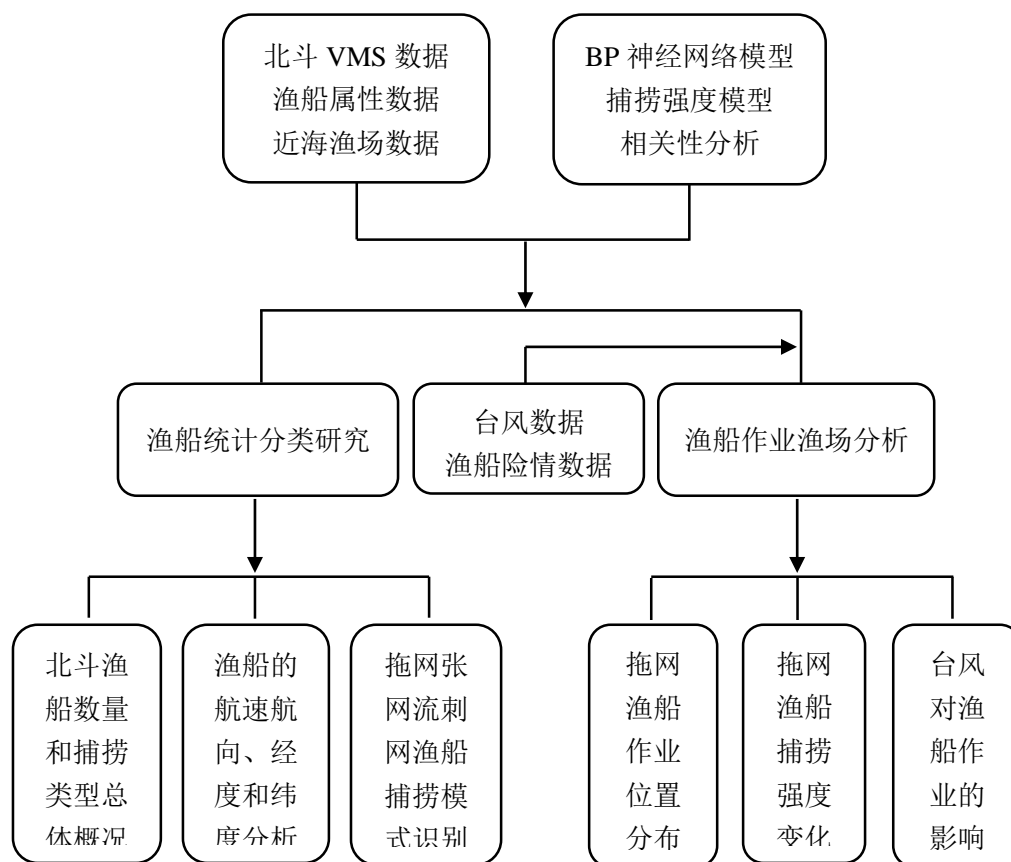


图 1-1 技术路线

Fig.1-1 Technical route

## 第二章 材料与方法

### 2.1 北斗 VMS 数据介绍

北斗 VMS 数据包含渔船的经度、纬度、航速、航向、发报时间等，相比其它的海事卫星具有更高的时空精度<sup>[29,30]</sup>。其中卡号是北斗卫星用于区别不同渔船的唯一 ID，该卡号将会与陆地数据库系统中的船名进行关联，用于匹配渔船的相关属性信息，包括船名、船长、功率、作业类型、负责人、作业海域、捕捞许可证号、归属地、所属单位等。经纬度数据可用于追踪渔船的航行和作业位置，便于渔业安全救助、非法捕捞管理、渔场动态监测、物种分布以及水产品溯源等。航速、航向数据目前已较多的被用于分析渔船的作业状态，从而研究渔船捕捞状态、捕捞强度、作业方式等。发报的时间数据可以用来统计渔船的出海时间和作业时间，与渔业生产数据的时间相关联，二者结合用于辅助渔业资源管理和决策的制定。

受台风数据和渔业生产数据的限制，本文使用的数据主要来源于北斗星通公司 2014 年北斗 VMS 数据，少部分来源于普适导航公司 2013 年北斗 VMS 数据。普适导航数据仅用于分析台风过程中的渔船位置变化和险情情况。

表 2-1 北斗 VMS 主要信息字段

Table2-1 Beidou VMS main information field

字段	说明
北斗卡号	渔船对应的北斗 ID
经度	E 东经 W 西经
纬度	S 南纬, N 北纬
航速	速度, 单位 (米/秒)
航向	方位角, 单位 (度)
船位发送时间	发报时间

## 2.2 数据预处理

### 2.2.1 航速数据预处理

北斗数据库中的渔船航速、航向、发报时间、经度及纬度数据均按照一定的格式存储，不能直接提取进行分析，因此需根据官方给定的数据解译方式进行转换。数据库中的航速数据均为实际航速的 10 倍，须将原始数据除以 10，再按单位转换将航速单位转化为节。此外，针对明显的航速异常值需剔除。

### 2.2.2 航向数据预处理

数据库中航向数据在  $0\sim 180^\circ$ ，但实际的渔船航向记录范围在  $0\sim 360^\circ$ ，不同的航向代表渔船方向的变化，系统默认以正北方向为  $0^\circ$ ，逆时针旋转的值为负，顺时针旋转的值为正<sup>[26]</sup>。为了正确表示渔船航向的变化率特征，需要考虑当航向较大值时的情况，如当航向值为  $350^\circ$  时，渔船可能是顺时针旋转到  $350^\circ$  也可能是从正北逆时针偏向西北方向至  $350^\circ$ ，即渔船航速的实际变化率是  $-10^\circ$  而非  $350^\circ$ 。因此，在计算渔船航向的变化率时需要根据实际情况对渔船航向变化的方向进行判断。

## 2.3 数据分析模型

### 2.3.1 BP 神经网络模型

#### 1. 人工神经网络模型

人工神经网络 (Artificial Neural Network, ANN) 是由大量的神经元链接组成的一种网络结构，它从信息的角度模拟动物的神经元系统和功能，是一种数学算法模型<sup>[31]</sup>。网络的每个节点代表一种输出函数，即所谓的激励函数 (activation function)，前后节点通过输出函数和权重值进行关联，同时网络的输出依赖于网络链接的方

法以及权重值和激励函数<sup>[32]</sup>。目前，神经网络模型的应用已被广泛的应用于信号处理、模式识别、构建专家系统等方面<sup>[33]</sup>。

## 2. 误差反向传播（BP）网络

BP（back propagation）网络作为人工神经网络的一种已广泛的用于模式识别和信号处理等分类问题中。BP 网络是一种多层前馈网络，特点是信号前向传递误差反向传播，前向传递中信号经输入层、隐含层逐层处理然后经输出层输出，若输出结果未能达到期望，则进行反向传播，依据预测误差调整网络的权值和阈值，从而使预测输出逐渐逼近期望输出<sup>[34,35]</sup>。3 层 BP 网络的拓扑结构见图 2。

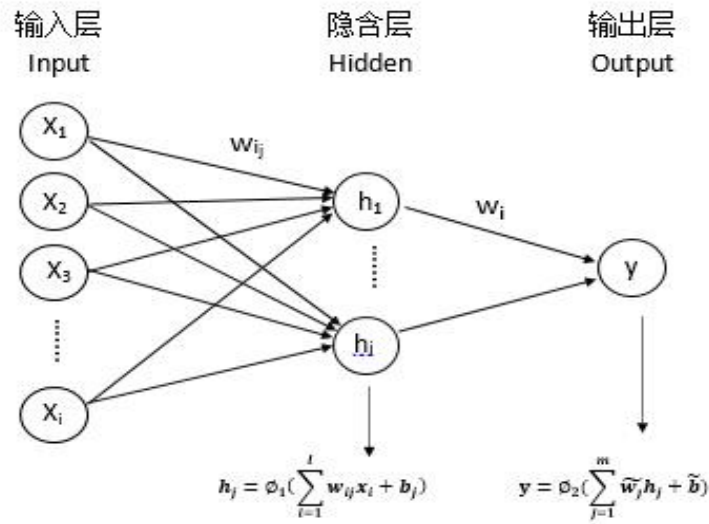


图 2-1 3 层 BP 神经网络拓扑结构  
Fig.2-1 Three layer BP neural network topology

BP 神经网络的函数包括：

$$h_j = \phi_1(\sum_{i=1}^l w_{ij}x_i + b_j) \quad (1)$$

$$y = \phi_2(\sum_{j=1}^m \tilde{w}_j h_j + \tilde{b}) \quad (2)$$

其中  $x_i$  表示输入层神经元,  $h_j$ 、 $y$  分别为隐含层和输出层的输出,  $w_{ij}$ ,  $w_j$  分别为输入层神经元和输出层神经元对应的权值,  $\phi_1$  和  $\phi_2$  为激活函数,  $b_j$  和  $\tilde{b}$  为偏差。

### 3. BP 神经网络结构的确定

隐含层越多神经网络的结构就越复杂, 较为复杂的网络结构也同样可以提高 BP 神经网络模型的非线性映射能力, 但过多的隐含层会降低网络性能, 增加训练时间, 所以隐含层并不是越多越好<sup>[36]</sup>。研究表明只要隐含层神经元的个数合理, 仅有一个隐含层的 BP 神经网络结构可以满足对任意闭区间的某个连续函数进行逼近<sup>[37]</sup>。所以一个包含输入层、输出层和一个隐含层的三层 BP 神经网络结构可以满足从  $N$  维到  $M$  维的映射<sup>[38]</sup>。

本文将采用一个三层 BP 神经网络结构对渔船的捕捞类型进行识别研究。模式识别是神经网络较为广泛的一个应用, 以渔船为例, 其原理可解释为首先选取渔船某一段连续变化的航速值, 通过网络训练提取并记忆该段航速的特征值, 提取出的特征值可看作该类渔船的航速特征模式。将该段航速模式与待识别的渔船航速进行匹配判别, 较为相似的模式将被分为一类, 得到最终的匹配结果。本文选取了拖网、围网和张网三类不同作业类型的渔船, 利用 BP 神经网络模型对其进行有效分类。

### 4. 隐含层神经元数确定

在网络隐含层个数选定之后, 可调整神经元个数实现网络训练的精度<sup>[39]</sup>。但是具体多少个神经元个数才是比较合适的, 这要依据问题的复杂程度, 由于无法直接对问题复杂度进行度量, 所以目前为止并没有完全的定义去确定神经元个数<sup>[40]</sup>。一般三层 BP 神经网络隐含层神经元个数的确定有以下几种经验公式<sup>[36]</sup>:

$$K < \sum_{n=0}^i C \binom{j}{i} \quad (3)$$

$K$  为样本数,  $j$  为隐含层神经元个数,  $n$  为输入层的神经元个数, 若  $i > j$  则  $C \binom{j}{i} = 0$ 。

$$J = \sqrt{m + n} + a \quad (4)$$

式中  $J$  为隐含层神经元个数,  $m$  为输入层神经元个数,  $n$  为输出层神经元个数,  $a$  为 1~10 的常数。

$$J = \log^{2n} \quad (5)$$

$J$  为隐含层神经元个数,  $n$  为输入层神经元数。

三组公式主要以公式 (4) 应用比较多, 本文研究选择公式 (4) 作为神经元数确定的参考。

## 5. 样本数据的处理

为了将样本数据整理到相同的数量级以便提高神经网络的训练效率, 对样本进行归一化处理, 可利用最大最小法将值映射到  $[0, 1]$  范围内<sup>[34]</sup>, 如下公式:

$$X = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (6)$$

本文涉及到的样本数据包括 15 艘流刺网渔船、39 艘拖网渔船、24 艘张网渔船, 每艘渔船均具有对应时间段内的 500 个航速数据和 500 个航向数据。

### 2.3.2 相关系数和显著性检验

衡量两个变量之间的密切程度一般采用卡尔·皮尔逊 (Pearson) 相关系数, 其主要是根据积差方法进行计算得到两变量与各自平均值的离差值, 用两个离差的乘积大小反应变量的相关程度<sup>[41]</sup>, 其公式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$



通过皮尔逊相关系数研究拖网、流刺网和张网渔船的航向、航速的相关性以及经度与纬度的相关性，并利用 T 检验对相关性的显著性进行计算。本文的相关系数计算和显著性检验均在 R 语言中完成。

### 2.3.3 拖网渔船捕捞强度模型

正常情况下，渔船安装的北斗客户端 3 分钟会记录一次渔船的位置信息并发送给卫星终端，将每艘渔船每个月的累计记录乘以 3 分钟再除以 60，得到每艘渔船每个月累计捕捞时间，单位为小时。渔船累计捕捞的强度可以通过渔船的功率乘以其对应的累计作业时间得到，再将累计捕捞强度除以每艘渔船对应的平均经纬度，得到单艘渔船每个月单个平均位置点的平均捕捞强度。可用以下公式表示：

$$\bar{S}_i = P_i * \frac{T_i}{20N_i}, T_i = 3 * M_i \quad (8)$$

$$S_j = \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \bar{S}_i \quad (9)$$

公式（8）中 $\bar{S}_i$ 表示第 i 条拖网渔船每个船位点代表的平均捕捞强度，单位是 KW·h， $P_i$ 是第 i 条渔船的功率，单位是 KW， $T_i$ 是第 i 条渔船每个月的累计捕捞时间，单位是分钟（min）， $M_i$ 是提取的第 i 条渔船每个月的累计船位点， $N_i$ 是第 i 条渔船按小时提取的每个月的累计平均船位点数，数值 3 表示北斗卫星的发报时间为 3 分钟一次。

公式（9）中 $S_j$ 表示第 j 个 0.1° x 0.1° 的格网中每个月所有渔船的累计捕捞强度， $\bar{S}_i$ 表示第 i 条拖网渔船每个船位点的平均捕捞强度，n 为第 i 条渔船落入格网 j 中的船位点数，p 为第 j 个格网中包含的渔船数量。

## 第三章 渔船统计和分类研究

由于我国渔船所安装的船载终端除北斗系统外还包括很多其他类型，且其他类型的终端数量多于北斗终端，因此，为了能够系统的了解北斗星通数据库中所有渔船的概况及安装北斗终端的渔船概况，本节将对所有终端的渔船数据和北斗终端渔船数据分别进行分析。此外，数据库中渔船的相关登记信息统一度不完整且不规范，本文的数据均是按照文中说明的方式进行查询的结果，当关键词改变，数据精度要求改变时，其结果将会发生一定幅度的变化。因此，本文在利用 SQL 语句进行相关查询操作时也会因关键词不同导致结果有一定的误差，但误差范围并不会特别大，下文在从不同角度度量某些特征时渔船数量上会出现轻微的差别，属于正常现象，不会影响总体的数据特征。

### 3.1 渔船总体概况

#### 3.1.1 我国渔船概况

据 2014 年中国渔业统计年鉴显示，全国渔船总数 107.17 万艘，其中海洋渔业机动渔船 28.33 万艘，海洋捕捞渔船 19.68 万艘。北斗星通数据库 2014 年登记渔船总数 86411 艘，约占海洋机动渔船的 30.5%。依据中华人民共和国农业部 2013 年第五号修订文件，我国渔业船舶名由省（自治区、直辖市）名称的规范化简称、渔业船舶所在县（市、区）名称的规范化简称、船舶种类（或用途）的代称和顺序号为 5 位数的数码共 4 部分组成<sup>[42]</sup>。

在数据库中以模糊匹配的方式对船名进行提取，共 76387 艘渔船可获取所属省市信息。按省市、自治区的简称对数据进行归类汇总，有渔船登记信息的省市共 14 个，其中辽、浙、鲁、桂、苏、琼和粤 7 个省份渔船最多，均在 2000 艘以上，辽 30000 多艘，浙 12000 多艘。而闽、台、津、港澳渔船总数在 100—200 艘，其

余均小于 100 艘。还有一些不以省份方式命名的渔船共 10024 艘，这些渔船主要包括中国渔政、中国海监、远洋、运输、巡逻以及养殖和补给船以及一些命名不规范的无法标示归属地的渔船。

渔船捕捞类型方面，86411 艘渔船仅有 22725 艘登记了相关作业类型，约占总数的 26.2%，剩下 63686 艘并无作业类型信息。已有的作业类型统计也存在诸多不足之处。数据库中以捕捞类型作为关键字进行提取可获得 159 个字段，远远超出中国现有渔船捕捞类型总和，其原因主要是基础信息登记方式不规范，渔船类型描述不明确，从而导致分组统计不能较好的归类。

按中国《渔业捕捞许可管理规定》，我国渔具分为 9 类，刺网类、围网类、拖网类、张网类、钓具类、陷阱类、笼壶类、耙刺类、杂渔具类（敷网类、抄网类、地拉网类、掩罩网类）<sup>[42]</sup>。以近似匹配的方式将 159 个字段按以上 9 类进行重新归类汇总，得到如下统计结果。耙刺和陷阱类作业方式的渔船其船载定位客户端的安装信息较其它作业方式在数量上基本处于缺失状态。其它类型主要以运输、执法、水产品收购、养殖和辅助船只为主。

表 3-1 渔船捕捞类型统计

Table 3-1 Type statistics of fishing boat

类型	拖网	围网	张网	刺网	钓具	笼壶	杂渔具	耙刺	其它	总计
总数	6038	1148	1843	10938	189	163	921	7	1478	22725
比例	26.57%	5.05%	8.11%	48.13%	0.83%	0.72%	4.05%	0.03%	6.50%	100%

### 3.1.2. 我国北斗渔船概况

安装北斗卫星船载客户端的渔船（下文简称北斗渔船）共 35495 艘，约占总数的 41%，11708 艘渔船有捕捞类型信息，共 8 种捕捞类型，刺网和拖网渔船数据最多。按地籍进行划分，渔船来自 13 个省市，浙江省最多，山东省第二，海南省第三。安装北斗客户端的渔船主要以拖网、刺网渔船为主，其它捕捞类型的渔船数相对较少。其渔船用户所属省份与数据库整体渔船归属地相似，仍然以浙、鲁、琼、辽、桂、粤和苏 7 省为主。

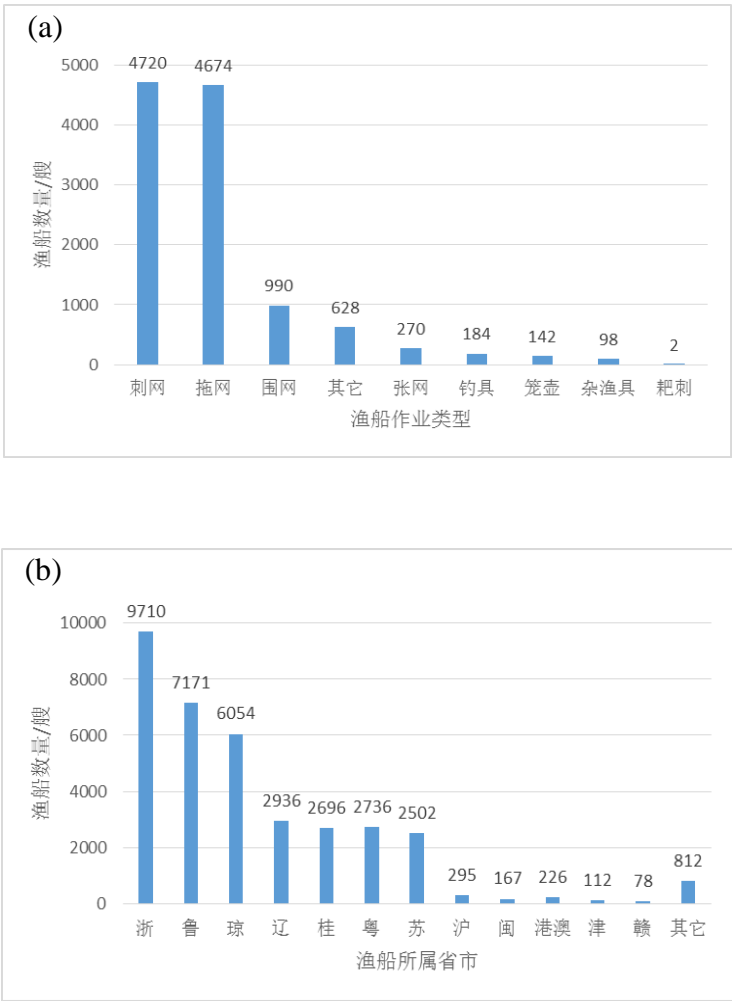


图 3-1 北斗渔船捕捞类型和地籍分布统计

Fig .3-1 Type statistics and Cadastral statistic of beidou fishing boats

(a)Type statistics of beidou fishing boats (b) Cadastral statistic of beidou fishing boats

3. 1. 3 浙江省渔船概况

以关键词“浙”在数据库中提取浙江省渔船数据，得到浙渔船总数为 12083 艘，约占数据库渔船总数的 7.2%。其中可明确渔船类型的共 3285 艘，浙江省渔船主要以拖网为主，约占总数 64%，其次是刺网、张网和杂渔具，笼壶及围网数量较少，具体见表 3-2。

表 3-2 浙江省渔船捕捞类型统计

Table 3-2 Type statistics of Zhejiang fishing boats

类型	拖网	刺网	其它	张网	杂渔具	笼壶	围网	钓具	总计
数量	2104	543	232	144	99	137	68	19	3346
比例	62.88%	16.23%	6.93%	4.30%	2.96%	4.09%	2.03%	0.57%	100.00%

按我国渔业捕捞许可管理规定<sup>[42]</sup>的海洋捕捞渔船船型大小分类标准对浙江省渔船船型进行统计，中型渔船占到了总数的 98%，大型和小型渔船各接近 1%。

浙江省安装北斗客户端渔船共 9710 艘，来自共 21 个市县。有作业类型的渔船为 2395 艘，约占总数的 24.7%，作业类型主要包括拖网、刺网、张网、围网、笼壶、杂渔具和钓具共 7 种。从作业类型的多样性看，大部分的地级市或县都会出现某一种作业方式的渔船数量占主导地位，并伴有数量相对较少的其它作业类型的渔船。

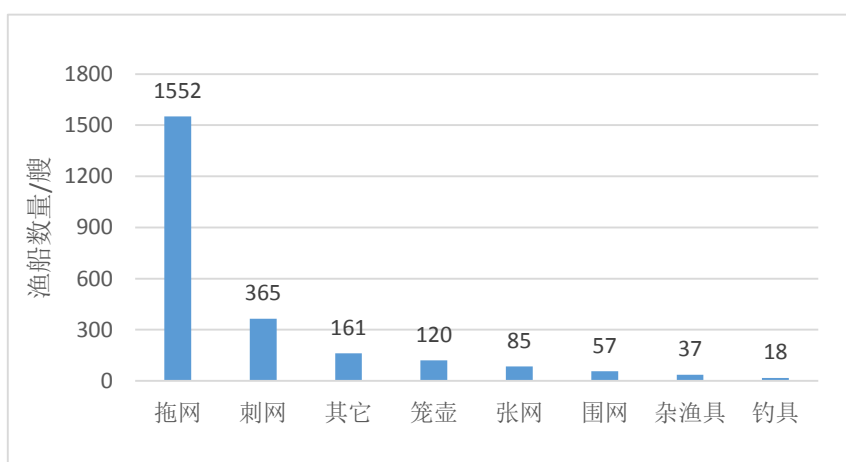


图 3-2 浙江省渔船捕捞类型统计

Fig .3-2 Fishing boats type statistics of Zhejiang provinces

## 3.2 渔船作业特点

### 3.2.1 拖网渔船

拖网属于过滤性渔具，在海洋渔业生产中具有较好的效益。拖网渔具由框架、网身和网囊组成，作业时渔船拖拽具有一囊两翼或者仅有袋型的网具在作业海域前进，在其经过的水域迫使捕捞对象进入网囊，达到捕捞目的<sup>[43]</sup>。拖网属于主动式追捕鱼群，作业范围广，效率也比较高，捕捞对象以密集型的经济水产动物为主，如鱼类、头足类、虾蟹等。此外，拖网作业主要依靠渔船的航行带动网具的运动，单次作业一般持续半个小时左右，航速和航向变化比较稳定。拖网渔船作业示意图如图 3-3 所示<sup>[44]</sup>。

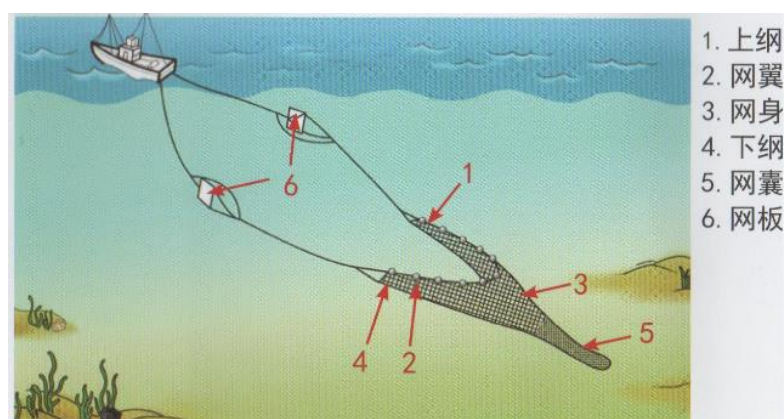


图 3-3 拖网渔船作业示意图

Fig.3-3 Trawler operation schematic diagram

### 3.2.2 张网渔船

在我国，主要的渔具之一便是张网，其在分布范围、数量、种类等方面在传统定置渔具中都居于首位。其依据捕捞对象的生活习惯以及捕捞位置的水文环境将囊袋型网具用锚、桩、木杆等设在海洋、湖泊、河流等具有流速的鱼类洄游通道的水域环境中，利用水流作用迫使捕捞对象进入网具中完成捕捞目的<sup>[45]</sup>。因此其作业特点主要包括 1) 由于是过滤性定制渔具，作业位置必须位于一定水流速度的水

域中。2) 为便于抛锚或打桩, 作业位置的地质以泥或泥沙为佳。3) 作业位置相对固定, 鱼期长可与其它渔具兼捕。作业过程中渔船主要停泊或者跟随网具缓慢移动, 航速变化较小, 航向主要受风浪影响。

张网渔船作业示意图如图 3-4 所示<sup>[44]</sup>。

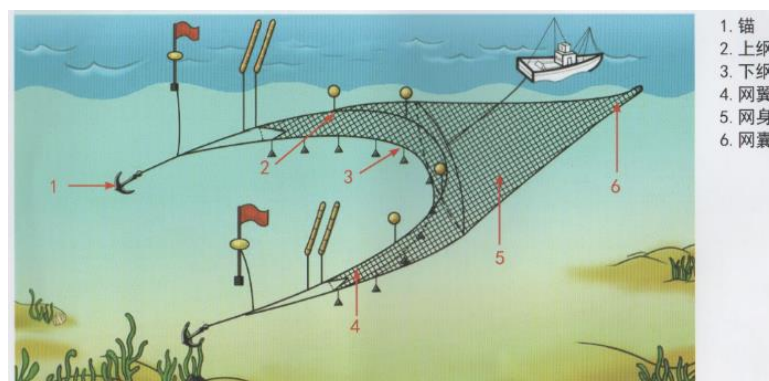


图 3-4 张网渔船作业示意图

Fig.3-4 Stow net operation schematic diagram

### 3. 2. 3 刺网渔船

刺网是由若干网具单元串联而成, 每个网具单元由 2 层不同网具尺寸的网衣、上纲和下纲构成。其作业原理因网具类型稍有不同, 定置刺网是将渔具放置水中或鱼类的洄游通道上, 借助沉浮力使网衣垂直张开, 使捕捞对象刺入网目或缠络于网衣上, 达到捕捞目的<sup>[46]</sup>。流动刺网则是将渔具放置水中或鱼类的洄游通道上, 将其一端固定在渔船上, 并跟随渔船漂流, 最终使捕捞对象刺挂于网目或缠络于网衣中达到捕捞目的。刺网的捕捞对象广泛, 包括沙丁鱼、金枪鱼、鲳鱼以及甲壳类等, 渔获量主要与网目尺寸、捕捞环境以及捕捞对象的生活习性相关。流刺网渔船作业示意图如图 3-5 所示<sup>[44]</sup>。

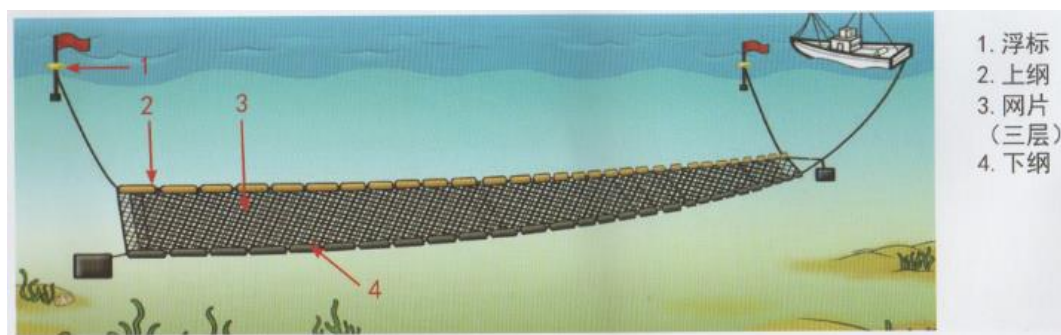


图 3-5 流刺网渔船作业示意图

Fig.3-5 Flow gill net operation schematic diagram

### 3.3 渔船航速、航向特征

对浙江省的拖网、流刺网、张网渔船的作业方式进行研究，发现拖网、流刺网、张网渔船的作业方式各自呈现一定的特点，不同捕捞类型的渔船其连续性的航速和航向变化会呈现不同特征，同种作业方式的渔船其航速和航向变化具有相似性。文章随机选取浙江省近海船长 27 米，功率 202 千瓦的拖网、流刺网和张网渔船各一艘并以此为例可视化其航速和航向变化特征。

#### 3.3.1 拖网渔船

渔船航向以正北方向为  $0^\circ$ ，顺时针旋转为正值，逆时针为负值，图 3-6 表明了拖网渔船的航速和航向变化。其中图 3-6(a) 左边的纵坐标轴表示拖网渔船的航向变化，右边的纵坐标轴表示航速，横坐标轴表示选取数据的时间段。从航速坐标轴可以看出渔船作业时速度比较平稳维持在 2~6 节，航行速度主要维持在 8~10 节，作业过程与航行过程交替进行，在时间上具有连续性。从航向坐标轴看，渔船的航向主要集中在  $0^\circ$ 、 $180^\circ$  和  $350^\circ$  附近。从时间角度分析，航行和航速在连续的时间段内变化具有一定的同步性。由图 3-6(b) 可以看出，航速变化集中在 -2~2 节，航向变化集中在  $-60^\circ \sim 60^\circ$ ，当航速变化率突然增加时对应的航向变化率也会出现一个峰值，如在时间段 7:11, 10:02~13:19, 16:08~19:21 等位置，航速和航向变化率的峰值都具有明显的对应。



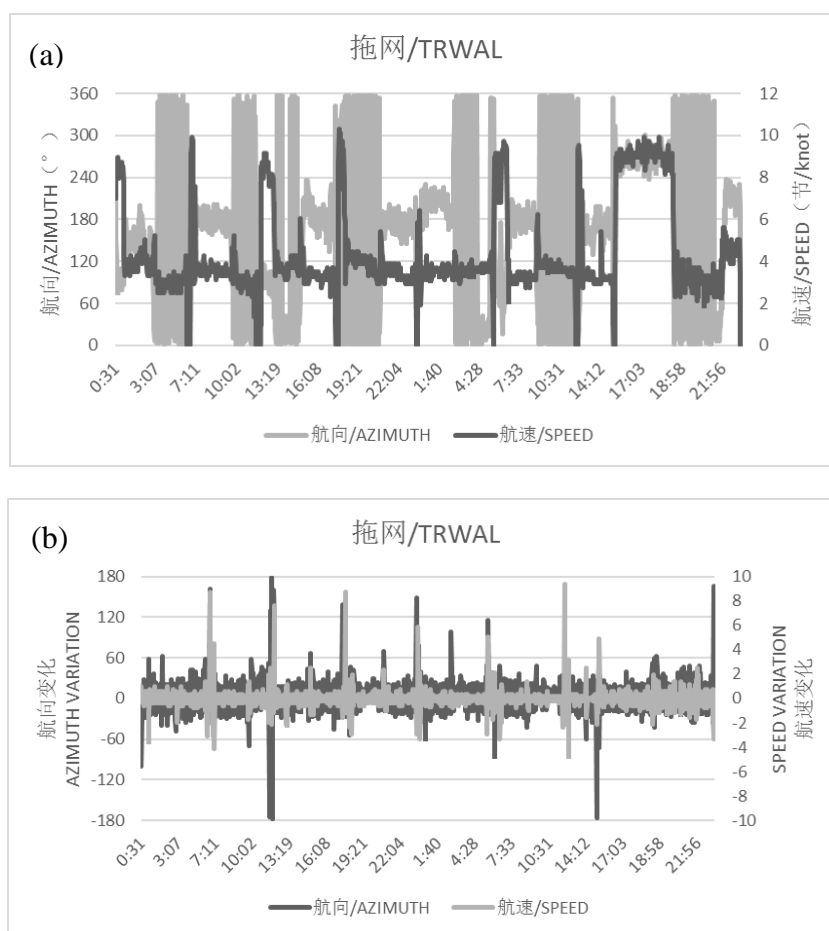


图 3-6 拖网渔船航速、航向及其变化特征

Fig.3-6 Trawler speed, direction and its variation characteristics (a) Continuous values of trawler speed and direction (b) Continuous change rate of trawler speed and direction

### 3.3.2 流刺网渔船

流刺网渔船由于作业的特殊性，网具释放后会跟随渔船移动，而渔船的移动速度相对缓慢，作业时的航向变化与航行阶段相比稍显复杂。图 3-7 (a) 显示了流刺网渔船航行和作业过程中的航速和航向变化情况，其作业时的速度维持在 1~2 节，航行速度为 8~10 节，航向波动相对集中在 350° 和 30° 附近。从图 3-7(a) 的 10:31-15:31、16:42-21:34、1:06-4:47、9:06-12:01、15:50-17:31、20:36-23:29 以及 0:24-4:34 等几个航行时间段以及剩下的捕捞时间段对应的航向和航速值变化可以看出当渔船处于航行状态时航速较大，航向值相对较小，当渔船处于

捕捞状态时，航速值维持在较小的位置，但航向值相对于航行状态时较大。图 3-7(b) 表明流刺网渔船的速度变化集中在  $-2 \sim 2$  节，航向变化集中在  $-60^\circ \sim 60^\circ$ ，航速和航向的变化在时间角度具有一定的同步性，但相对于拖网渔船，流刺网渔船的航速、航向变化的规律性有所减弱。

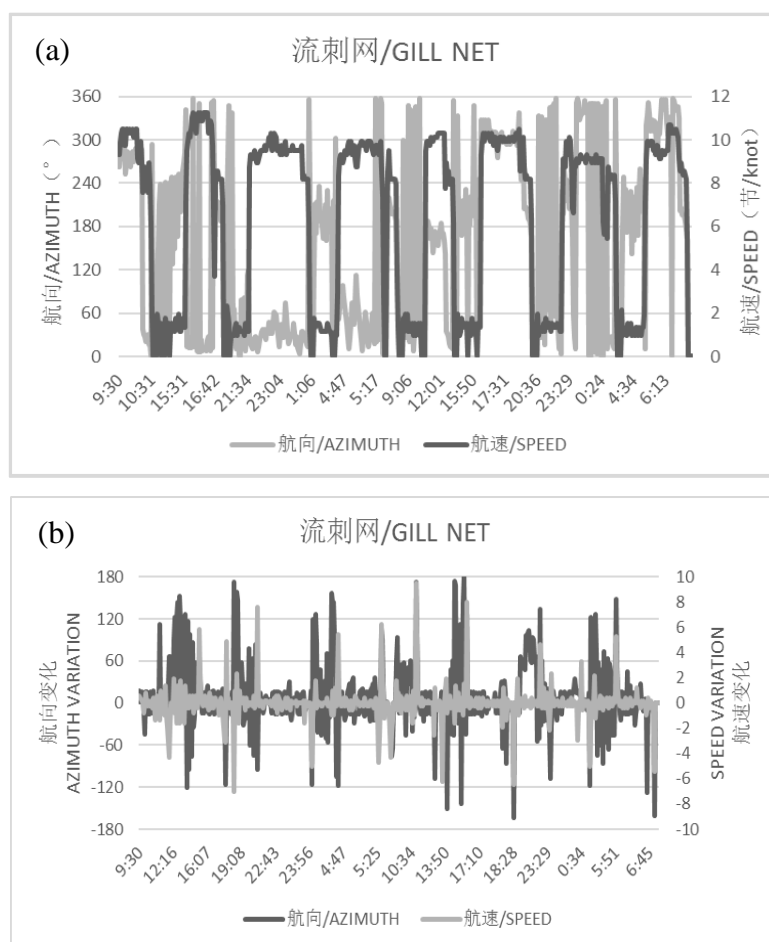


图 3-7 流刺网渔船航速、航向及其变化特征

Fig.3-7 Flow gill net speed, direction and its variation characteristics (a) Continuous values of Flow gill net speed and direction (b) Continuous change rate of Flow gill net speed and direction

### 3.3.3 张网渔船

由于张网属于定置渔具，在捕捞作业时渔具固定于水中，一端与渔船相连接，整个捕捞过程中渔船停泊于网具一段距离内等待收网。此段过程渔船的航速和航向变化主要受风浪影响，出现如图 3-8(a) 所示的幅度变化。张网渔船作业时航速

一般在  $0\sim 8$  节内波动，航行时速度为 9 节左右，作业时的航向在  $0^{\circ}\sim 350^{\circ}$  波动，航行时航向主要集中在  $50^{\circ}$  附近。并且航向和航速的变化在时间角度上具有较好的一致性，捕捞过程中，当航速处于波动状态时航向也处于波动状态，航行过程中，航速值以较为稳定方式变化，航向值也以较小的幅度变化。图 3-8(b) 表明张网渔船的航速变化主要在  $-6\sim 6$  节，航向在  $-180^{\circ}\sim 180^{\circ}$  内浮动，相对于拖网和流刺网渔船，张网渔船的航向和航速变化特征明显，且在时间上更具有较好的一致性。

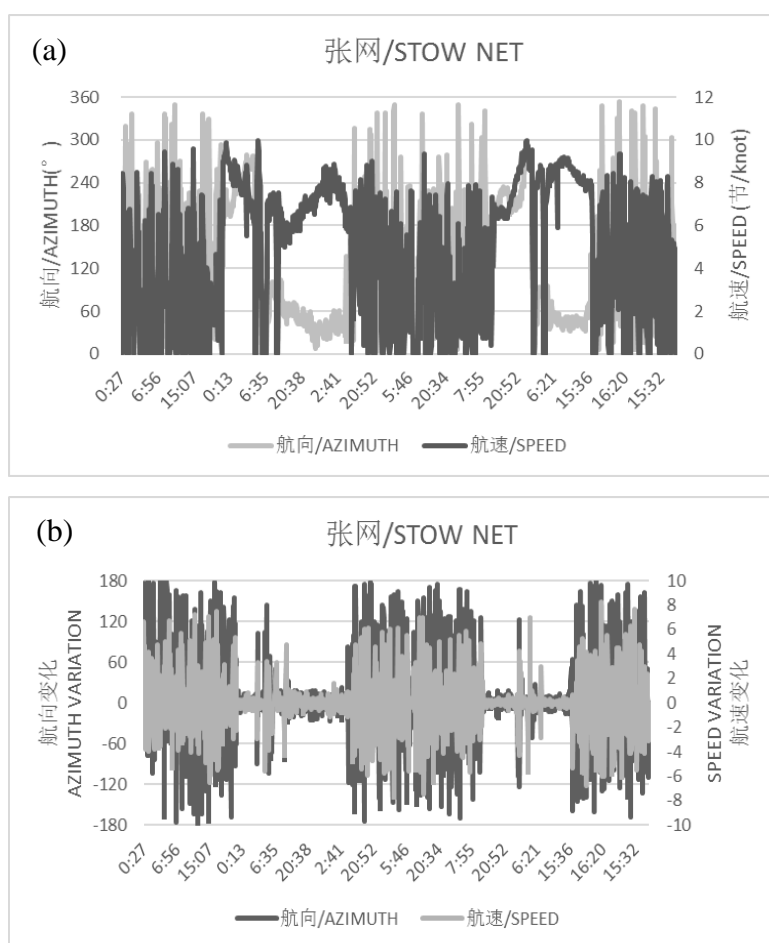


图 3-8 张网渔船航速、航向及其变化特征

Fig.3-8 Stow net speed, direction and its variation characteristics (a) Continuous values of Stow net speed and direction (b) Continuous change rate of Stow net speed and direction

### 3.4 渔船轨迹分析

#### 3.4.1 渔船轨迹特征

由上述分析知,由于拖网、流刺网、张网渔船的作业方式不同导致它们的航速和航向变化具有不同的特征,这里随机选取浙江省拖网渔船、流刺网渔船和张网渔船各一艘,用于可视化各类渔船作业时的轨迹变化特征。拖网渔船为浙椒渔,流刺网为浙玉渔,张网为浙普渔,捕捞对象不同,渔船的作业时间也有差异,每艘渔船每个月的北斗数据量差距变化较大。在捕捞旺季渔船出海频率高,作业频繁,相关数据较多,1个月的数据量足以可视化渔船作业方式的轨迹特征。

根据浙椒渔拖网渔船、浙玉渔流刺网渔船和浙普渔张网渔船共三艘渔船每个月的数据量特征,依次选择10月、5月和3月数据为各艘渔船做轨迹分析。其中拖网10月份的轨迹点为10226个,流刺网3月份轨迹点为2091个,张网5月份轨迹点为5034个。此外,数据也给出了各渔船出海作业的相关时间信息,拖网渔船10月份共26天有数据记录,分为3个时间段,10月1~3号,6~7号,14~31号。流刺网渔船3月份共18天有记录,分别为1~2号,9~11号,13~18号,25~31号。张网5月份共28天有记录,分别为1~5号,7~23号,25~30号。有数据记录的日期基本处于航行或者作业状态,无记录的日期可能处于回港靠岸或者其它原因无船位监控监测信息。本节利用ARCGIS 10.1将有经纬度记录的渔船数据进行可视化见下图。

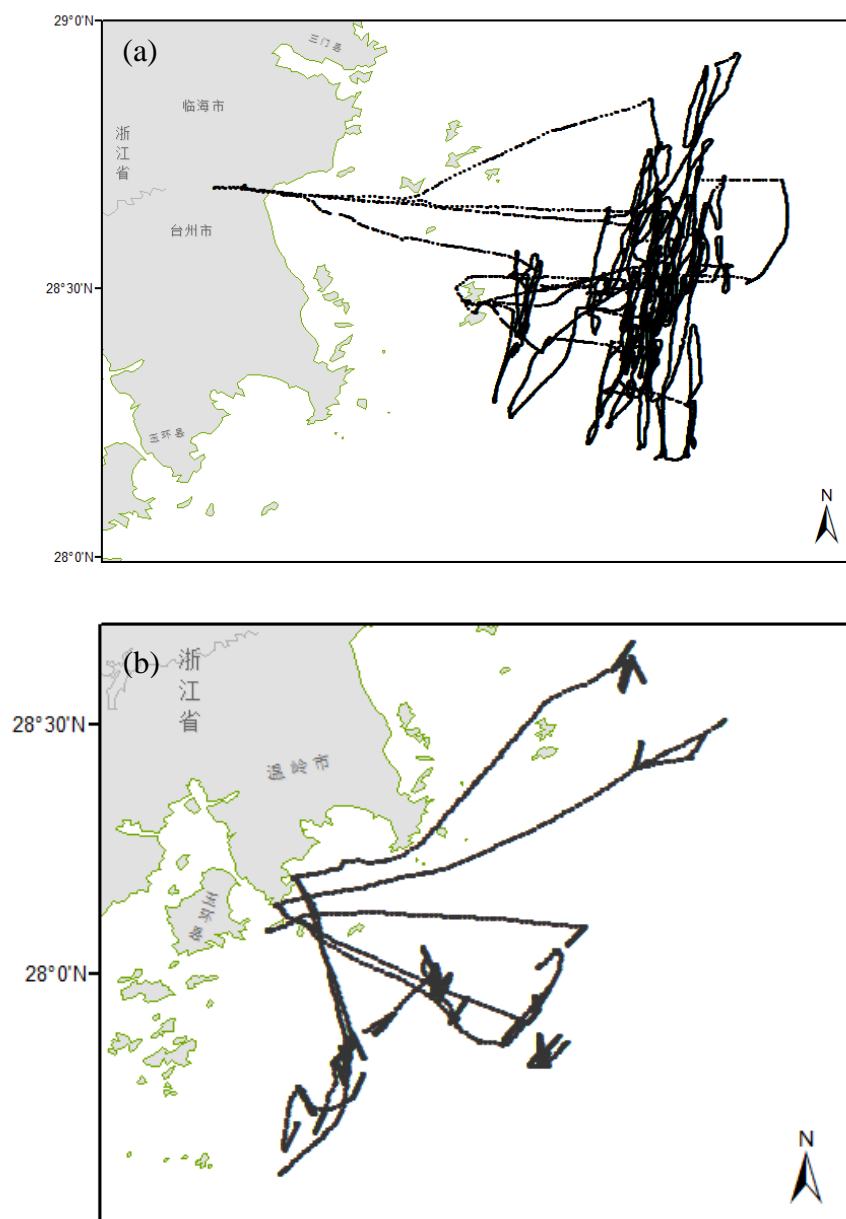




图 3-9 拖网、流刺网和张网渔船的作业轨迹

Fig.3-9 Fishing trajectory of trawler, flow gill net and stow net (a) Fishing trajectory of trawler  
(b) Fishing trajectory of flow gill net (c) Fishing trajectory of stow net

如图 3-9 所示，图中(a)、(b)和(c)分别表示拖网、流刺网和张网渔船的作业轨迹。拖网主要以渔船航行拖拽网具进行捕捞作业，捕捞时单个网次一般向一个方向进行拖拽，短时间内轨迹大体呈现横向或纵向的连续变化。图 3-9(a)可以明显看出拖网渔船作业海域的轨迹基本呈纵向分布，捕捞的范围相对较大，捕捞场所分布较集中。图 3-9(b)显示流刺网渔船在 3 月份出海作业次数较多，作业场所较多，且空间上并不连续，单个航次出海作业的渔船范围较小，渔船轨迹无特定形状。对于张网，图 3-9(c)给出了较为清晰的轨迹特征，每次作业离港口距离较远，航行到目的地后进行作业，作业轨迹呈紧密状态，范围很小，作业的位置较分散，在空间上与流刺网相似，无连续性。此外，从轨迹图可以看出，拖网渔船一个月内具有 2 个完整的航次，单次出海的时间较长，流刺网有 4 个航次左右，单次出海时间 2~7 天左右，张网有 2 个左右的航次，单次出海时间较长。

### 3.4.2 渔船作业经纬度分析

将 3.4.1 节中的拖网、流刺网和张网渔船的经纬度数据按时间顺序进行绘制如图 3-10 所示。图 3-9(a)可以看出，拖网渔船的出海港口位置在  $121.4^{\circ} \text{ E}$ ,  $28.35^{\circ} \text{ N}$  附近，作业位置在  $121.8^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{ E}$ ,  $28 \sim 29^{\circ} \text{ N}$  范围内，港口的经度位置离

作业时的经度位置较远,纬度位置包含在作业时的经度范围内。图 3-10(a)给出了拖网经纬度位置变化对应的特征曲线,经度曲线在第 931 和第 1861 个轨迹位置点出现较低的 2 个峰值,且 2 个峰值的坐标均接近  $121.4^{\circ} \text{ E}$ ,  $28.35^{\circ} \text{ N}$ ,由此可推断该峰值的坐标即为拖网渔船出海时的港口位置。从经度曲线可得到拖网渔船在 10 月份共出海作业 2 次,即 9 月份出海作业,10 月份返回港口,经度出现一次较低的峰值,停留一段时间再次出港作业然后返回,经度出现第二次峰值,停留一段时间后继续出海,且在 10 月 31 号前并未返回港口。对应于数据库中的时间信息是 10 月 1~3 号处于作业、航行并返回港口状态,4~5 号渔船停泊于港口,6~7 号出海作业并返回,8~13 号位于港口,14~31 号出海作业。

对于流刺网渔船,图 3-9(b)显示其出海作业次数较多,且作业位置较分散,因此经度和纬度方向上的变化会相对多样化,此外该渔船有三个停泊港口,且港口位置在经度和纬度方向上都稍有不同,但港口相对于作业海域其经度位置依然相对偏小,纬度位置位于整体作业纬度的中间位置,因此基本可以利用经度变化判断作业航次情况。从图 3-10(b)中的经度曲线峰值可以直观的看出有 6 个较低的峰值,其中第 85 和第 689 个连续轨迹点附近的经度峰值对应的纬度值相对较小,观察图 3-10(b)可以看出港口位置的纬度值在整体作业纬度的中间位置,而非中间,综合以上,第 85 和第 689 个连续轨迹点附近的经度峰值并不表示渔船位于港口,所以该刺网渔船 3 月份的出海作业次数应为 4 次,而这也与上述提到的数据库对应的作业时间信息一致。

张网渔船轨迹较为简单清晰,其对应的经纬度折线图与前面 2 艘渔船相比更为直观,结合渔船港口的经度和纬度位置特征,可以从图 3-10(c)得到该渔船 5 月份共出海 2 次,先是 4 月份出海到五月份返回港口,经度出现峰值,然后从港口出发再次出海作业并返回,经度出现第二次峰值,随后接着出海且在 5 月 30 号前并未返回港口,该过程分别对应于上文提到的数据库中记录的 1~5 号,7~23 号,25~30 号出海信息。

综上所述,基于北斗 VMS 提供的渔船作业时间和位置信息,可以多角度分析渔船捕捞行为,确定渔船的捕捞状态、作业航次、作业位置以及靠岸港口等信息,

对于渔业资源管理和水产品溯源分析具有一定的意义。

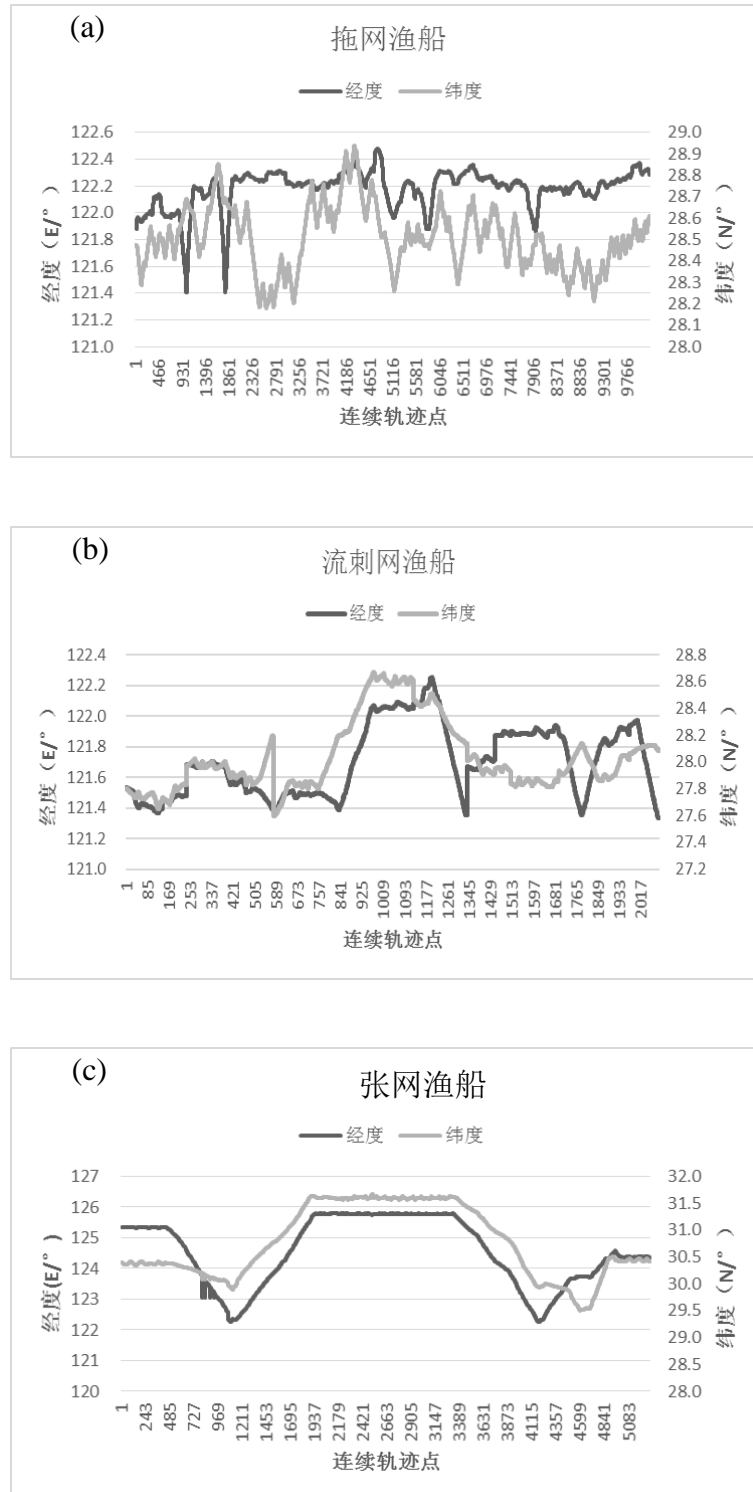


图 3-10 拖网、流刺网和张网渔船的经纬度变化

Fig.3-10 Latitude and longitude change of trawler, flow gill net and stow net

(a) Latitude and longitude change of trawler (b) Latitude and longitude change of flow gill net

(c) Latitude and longitude change of stow net



### 3.4.3 航速、航向及经纬度相关性

上文对拖网、流刺网及张网渔船的经度、纬度变化以及航速航向变化的特征分析可以看出各类作业方式的经纬度和航速航向均具有较为明显的特征性，在时空变化上也具有一定的同步性，尤其是拖网和张网的航速、航向变化率，以及流刺网和张网的经度、纬度时空变化。为了探索拖网、流刺网及张网渔船的航速、航向，经度、纬度的相关性，随机选取拖网、流刺网及张网渔船各 6000 对航速、航向值及对应的 6000 对经度和纬度值，做相关性分析，并对结果进行 T 检验。

表 3-3 经度、纬度及航速、航向的相关性分析  
Table 3-3 Correlation analysis of speed, azimuth, longitude and latitude

	流刺网		拖网		张网	
	航速-航向	经度-纬度	航速-航向	经度-纬度	航速-航向	经度-纬度
T 统计量	0.02	50.47	0.24	-6.74	-4.68	58.84
自由度	6097	6097	6097	6097	6097	6097
P 值	0.987	< 2.2E-16	0.8087	1.71E-11	2.89E-06	< 2.2E-16
相关系数	0.0002	0.54	0.003	-0.086	-0.059	0.6
95%置信区间	[-0.02,0.02]	[0.52, 0.56]	[-0.02,0.03]	[-0.11,-0.06]	[-0.08,-0.03]	[0.58,0.62]

表 3-3 给出了三组航速、航向以及三组经度和纬度的相关性分析结果，可以看出拖网、流刺网的航速、航向相关性分析的 P 值均大于 0.8 且相关系数均小于 0.01，因此二者不存在相关性，张网的航速、航向相关性分析的 P 值虽然小于 0.01，但相关系数仅为-0.059，因此是极其显著的负的弱相关性。经度和纬度相关性分析方面，流刺网和张网的 P 值均小于 2.2E-16，显著拒绝原假设，即存在显著相关性，且相关系数均大于 0.5，因此可以说明流刺网、张网的经度和纬度分别存在相关系数为 0.54 和 0.6 的显著的相关性。拖网的经度和纬度 P 值为 1.71E-11，虽然显著小于 0.01，但是相关系数仅为-0.086，因此二者之间仅存在极其显著的负的弱相关性。

### 3.5 基于 BP 神经网络的渔船捕捞类型识别

渔船作业方式取决于捕捞对象,对渔业资源保护和管理有重要意义。目前,海上捕捞作业需申请捕捞许可证,登记作业类型,但渔民在作业过程中并不一定会遵循登记的作业类型进行捕捞,往往多种网具混合使用,违规作业将会严重地破坏渔业资源和海洋生态环境。通过渔船作业航速和航向变化可辨别渔船作业方式,为渔业资源保护和管理提供辅助和依据。

#### 3.5.1 基于 BP 网络的渔船捕捞研究进展

VMS 数据主要包括渔船的位置、航速、航向和日期,但 VMS 数据并未直接体现渔船的作业状态(捕捞或非捕捞)以及渔船的作业类型,为了获取更多潜在信息需要对 VMS 数据进行分析 and 挖掘。通过位置、航速、航向和日期可以发现渔船作业状态、作业季节、作业位置特征<sup>[26,47,48]</sup>,结合渔业数据则可以分析捕捞努力量、捕捞强度、捕捞行为、渔场动态变化<sup>[27,28,49]</sup>以及评估捕捞行为对海洋生态环境的影响<sup>[23,24,50]</sup>等,对于保障作业安全、打击非法捕捞行为<sup>[51,52]</sup>具有重要意义。随着研究内容的不断深入以及研究范围的不断扩大,适用于 VMS 数据分析和挖掘的算法也逐渐得到优化。目前基于 VMS 数据挖掘的内容主要围绕渔船作业状态判断以及渔船航行轨迹的重构 2 个方面,涉及到的算法主要包括神经网络、贝叶斯、线性插值、样条插值等空间状态模型<sup>[18,19,53,54]</sup>。其中具有多层网络感知器的人工神经网络模型(artificial neural networks, ANNs)是应用最为广泛且较为简单的分类器,已被用于处理 VMS 数据,对渔船作业状态以及渔船作业方式进行分类。多层感知器的人工神经网络优点主要体现在 ANNs 不需要知道或者假设任何概率分布函数,适用于复杂的非线性数据集以及可以实现该网络的计算工具较为普遍<sup>[55,56]</sup>。TRANDELL 等<sup>[25]</sup>结合 VMS 数据和渔捞数据确定了所有秘鲁鳀鱼围网渔船的分布位置并使用神经网络算法成功辨别了 83%的渔船作业状态,最后将作业状态与秘鲁鳀鱼资源量的空间分布结合,得到鳀鱼资源量与渔船作业状态的相关性。JOO 等<sup>[18]</sup>通过对

神经网络分类结果增加敏感性分析,进一步优化了神经网络对渔船作业状态辨别的正确率。RUSSO 等<sup>[19]</sup>利用渔船的航速、航向、网目尺寸、目标物种、作业深度等因子借助神经网络模型对作业网具类型进行判别,并找出了对判别结果影响较为显著的因子,如深度对不同底拖网的辨别较为敏感,航速(SPEED)和航向(AZIMUTH)由于能较好的反应捕捞行为则对非同类网具辨别较为敏感。

一般研究过程获取类似于 RUSSO 等<sup>[20]</sup>研究的全面因子较为困难,可以考虑选取对辨别较为敏感的因子进行分析。航速和航向不仅对不同作业类型的辨别较为敏感,且可以通过 VMS 直接提取,便于操作和研究。

根据 3.2 节和 3.3 节对拖网、流刺网和张网的作业方式、航速、航向以及轨迹等特征变化的研究,可以清楚的看出,3 种作业方式有着明显的区别,理论上可利用神经网络模型结合各类渔船作业特点,对其捕捞类型进行辨别。本节借助航速和航向 2 个因子采用神经网络模型对拖网、流刺网、张网 3 种渔船捕捞类型进行识别分析<sup>[57]</sup>。

### 3.5.2 渔船数据预处理

由于同种作业方式的航速、航向的变化特征相似,因此以浙江省拖网、张网和流刺网渔船为例,从 2014 年北斗数据库随机查询拖网渔船、流刺网渔船和张网渔船各 50 艘作为研究的数据源。船载终端返回信息受人为因素和气象因素较大,部分渔船没有数据或数据量过少,考虑数据完整性,最终可选取的拖网渔船为 39 艘,流刺网渔船 15 艘,张网渔船 24 艘共 78 个样本进行研究。样本数据存在渔船作业时间不统一问题,考虑单艘渔船每次作业的航速和航向变化具有相似性,提取不同捕捞类型的航速和航向变化特征值。删除所有航速为零的记录点,保证研究对象处于航行或作业状态。拖网和流刺网渔船,随机提取删除零值后的连续 500 个航速数据,基本会出现一次或多次航速和航向的变化特征,张网则需 1 000~15 00 个航速数据。为减少数据量并保持数据特征,对张网渔船的航速、航向数据按时间顺序每 3 条平均一次,最后每艘渔船随机提取 500 个航速数据和对应的 500 个航向数据作为研究样本。

### 3.5.3 神经网络训练

在 MATLAB 中对包含了拖网、流刺网、张网的 78 组样本数据进行归一化处理<sup>[24]</sup>，数值控制在 0~1。建立对应的布尔变量，分类目标的值对应 1，其余为零。用 MATLAB 神经网络模式识别工具箱建立网络，共轭梯度法进行训练。训练样本、验证样本及测试样本分别为 60%、20%和 20%，网络训练最大迭代次数为 1 000，学习率为 0.02，最大误差给定 0.001，最大失败验证为 10 次。神经元个数则以经验公式  $l = \sqrt{m + n} + a$  为参考，m, n 为输入层和隐含层神经元个数，a 一般取 0~10 的整数<sup>[58]</sup>。神经网络每次训练的初始值不同，输出的误差不同，为了选取合适的神经元数，对网络设计循环训练，神经元数从 10~30 依次训练 10 次，并将每次训练误差保存，对 10 次结果求平均，取最小值对应的神经元数为最优，利用选取的神经元数进行最终网络训练，多次训练取最优结果。图 3-11 表示了航速和航向分别建立的神经网络模型输出误差与隐含层神经元个数的关系。

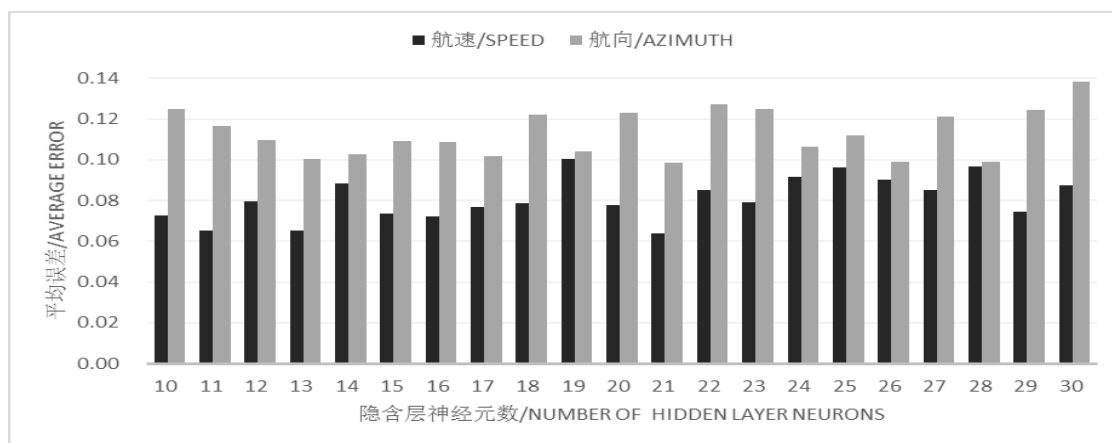


图 3-11 分类误差和神经元个数的关系

Fig.3-11 Relationship of classification error and the number of neurons

基于航速的神经网络模型中，平均误差最小值出现在神经元数为 21 的位置，神经元个数为 11 和 13 时，平均误差基本相同，经多次训练发现 21 个神经元数分类结果更为准确。基于航向的神经网络模型中，平均误差在 13、21、26、28 的位置时相对较小，并以 21 个神经元的训练结果最好。

### 3.5.4 结果分析

文章以航速、航向为变量，采用 BP 神经网络模型对渔船作业方式识别的结果如图 3-12 所示。图中样本的输出值由流刺网、拖网和张网组成，单个样本直方图中最大面积对应的作业方式即为该样本的分类结果，如基于航速的分类图中样本 1 的直方图面积最大的是流刺网，样本 1 对应的作用方式为流刺网。图 3-12 中横坐标对应的 1~15 为流刺网样本，16~54 为拖网，55~78 为张网。基于航速的分类图表明流刺网样本 3、5、7、14 错误地分类为拖网，拖网全部正确分类，一个张网样本错误分类为拖网。基于航向的分类图中，3 个流刺网样本错误分类为拖网，一个流刺网样本错误分类为张网，一个拖网样本错误分为流刺网，一个流刺网样本错误分类为拖网。

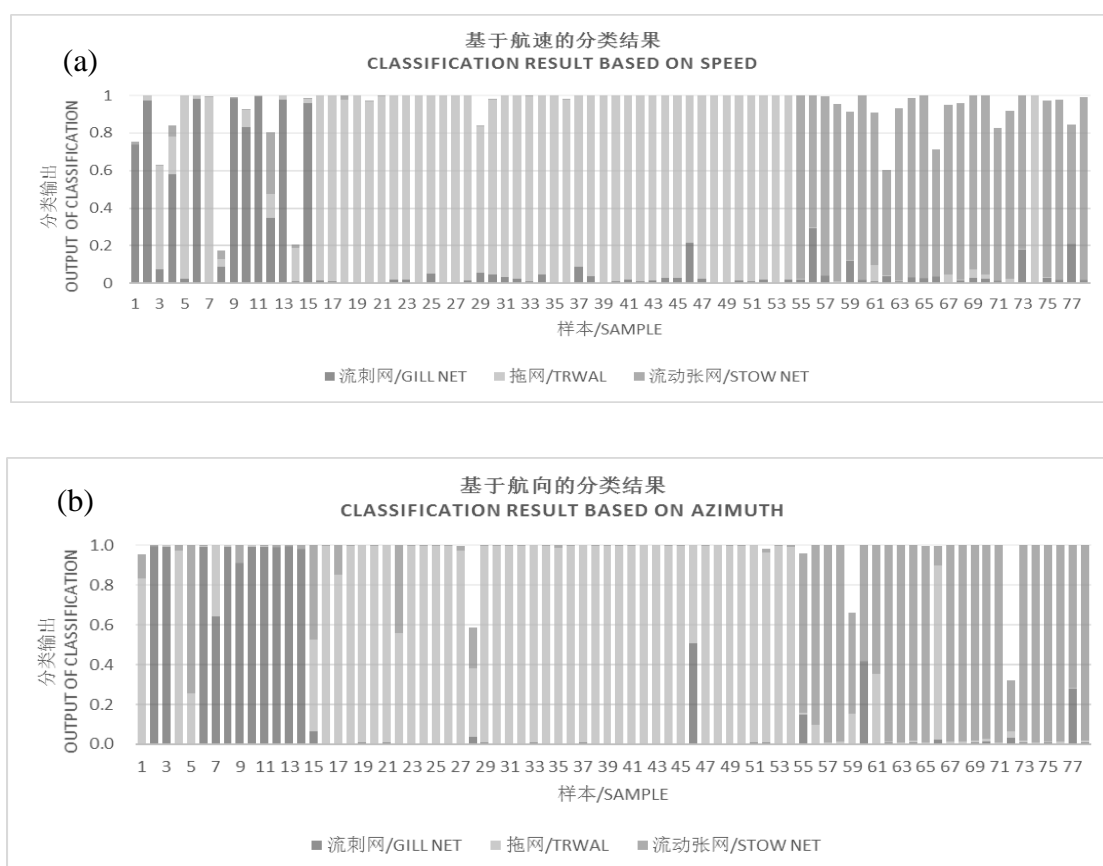


图 3-12 基于航速、航向的渔船作业类型分类结果

Fig.3-12 Fishing type classification results based on the speed and azimuth (a) Fishing type classification results based on the speed (b) Fishing type classification results based on the azimuth

表 3-4 和表 3-5 是结合神经网络工具箱和输出结果整合的基于航速和航向的渔船作业方式分类精度混淆矩阵图。表 3-4 中混淆矩阵的横向表示分类的结果和比例，第一行表示 78 个样本识别出 11 个流动刺网样本，且拖网和张网样本并没有被错误的分类到流动刺网样本中，第二行表示 78 个样本识别出 44 个拖网样本，其中有 4 个是流刺网，1 个是张网，拖网样本的分类精度为 88.6%，矩阵的纵向表示各样本的真实数量以及分类的结果和精度，第一列表示 15 个流刺网样本有 11 个样本正确分类，4 个样本错误分类为拖网，分类准确率为 73.3%。模型验证部分基于航速的整体分类精度为 83.3%，基于航向的整体分类精度为 75%。最终的综合分类精度由矩阵对角线上正确分类样本数与总样本数的比值确定，基于航速、航向的综合分类精度分别为 93.6% 和 91%。

表 3-4 基于航速的分类混淆矩阵  
Table.3-4 Confusion matrix of classification based on speed

分类 Classification		目标分类/Target class			
		流刺网	拖网	张网	总计/%
输出分类 Output class	流刺网 gill net	11	0	0	100
	拖网 trwal	4	39	1	88.6
	张网 stow net	0	0	23	100
	总计/% total	73.3	100	95.8	93.6

表 3-5 基于航向的分类混淆矩阵  
Table.3-5 Confusion matrix of classification based on azimuth

分类 Classification		目标分类/Target class			
		流刺网	拖网	张网	总计/%
输出分类 Output class	流刺网 gill net	10	0	0	100
	拖网 trwal	3	38	1	90.5
	张网 stow net	2	1	23	88.5
	总计/% total	66.7	97.4	95.8	91.0

### 3.5.5 讨论

文章以航速和航向变化特征作为渔船作业方式的分类依据，变量因子选择相对较少，但由于特征明显，分类效果较好，正确率均在 91% 以上。对比航速和航向

的分类效果，图 3-11 中基于航速的分类误差整体小于基于航向的分类误差，3 种作业方式的分类精度前者均大于后者，且二者均能较好的体现作业特征。航向分类效果相对较差可能是因为渔船作业时遇到的海洋环境不稳定，减弱了航向变化与作业状态的相关性。此外，随机样本中 500 个样本点可能都是航行状态的数据，或者作业状态数据量太少，不能体现渔船作业特征。对于 3 种作业方式的分类效果，航速和航向体现了一致性，拖网分类效果最好，2 次结果均在 97% 以上，其次是张网，平均在 95.8%，而流刺网分别是 66.7% 和 73.3%。该结果与 RUSSO 等人的分析具有一致性，出现拖网和张网分类效果优于流刺网的主要原因可能是拖网和张网作业时移动较规律，而流刺网在空间上的移动更复杂，减弱了航速和航向变化的规律性<sup>[14]</sup>。

随着海洋强国战略的不断推进、渔权即海权的意识不断强化，不停涌现的渔业争端导致国际关系紧张、渔民生命和财产安全遭到威胁。针对非法捕捞屡禁不止的现象，可借助渔船作业状态判断捕捞行为，但对已经明令禁止使用的捕捞方式以及保护区禁止作业的方式是无法通过作业状态判断的。不合理的作业方式对于渔业安全、渔业资源养护、海洋生态环境养护等存在一定的威胁，如底层拖网对海洋环境和生态系统的破坏。文章利用航速和航向对渔船作业方式进行辨别可以得到较好的效果，分类因子易于获取、分类方法较为成熟，论文的研究思路适用于其它具有 VMS 数据的捕捞渔船。后期研究将继续扩大样本容量，改进数据处理方法，减小冗余度，研究航速和航向关系，提取有效特征值对神经网络模型进行优化，以便更好的服务于渔业资源管理和海洋生态环境保护。

## 第四章 浙江省拖网渔船作业渔场分析

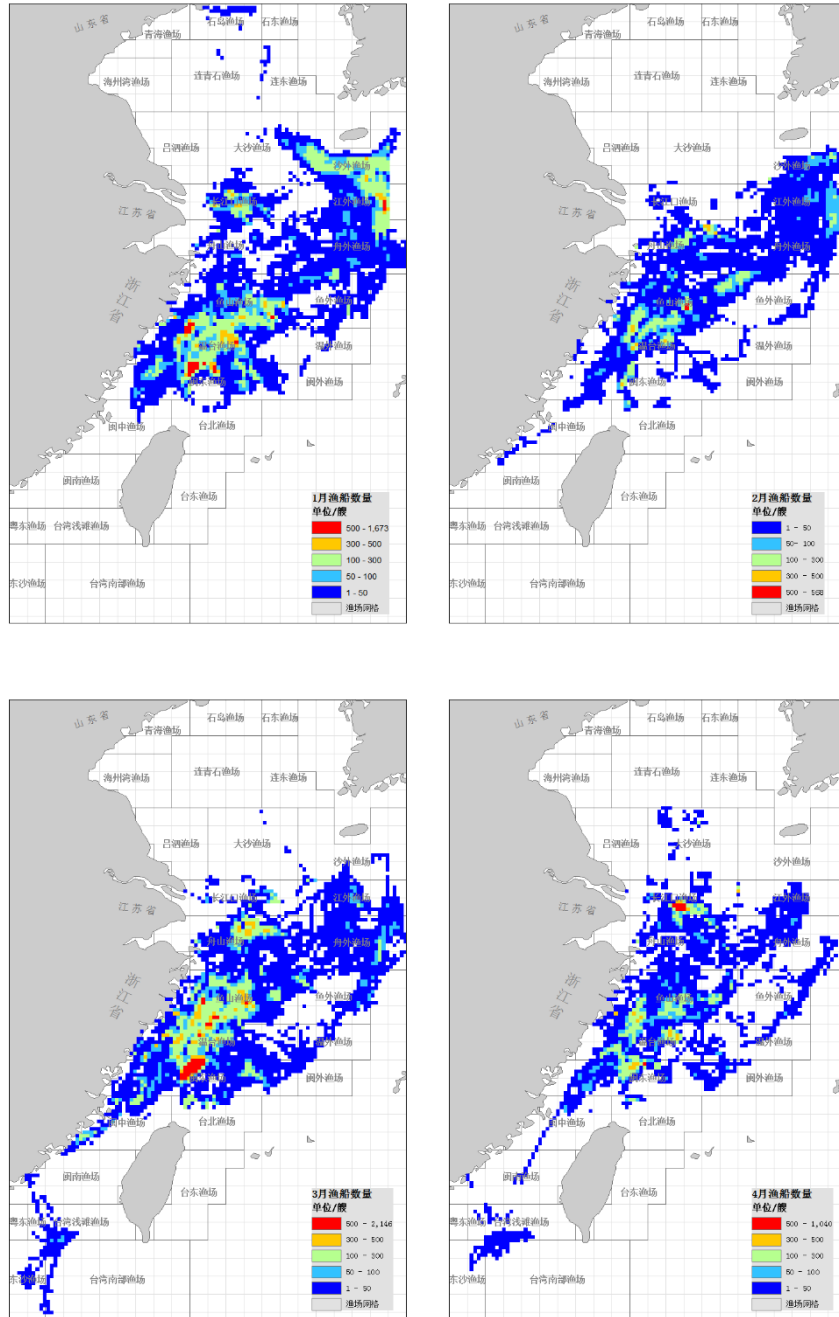
### 4.1 拖网渔船作业位置分布

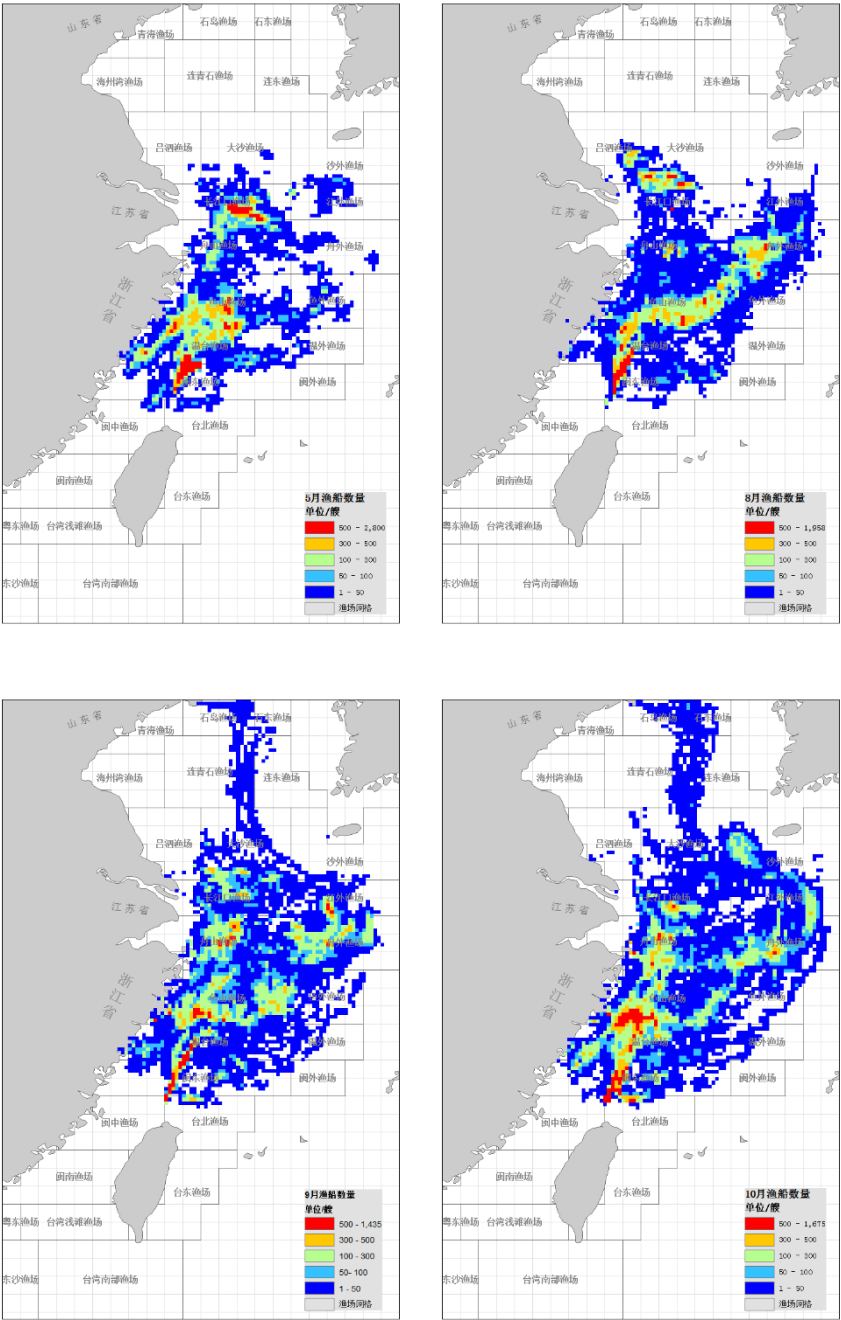
本节以安装北斗客户端的浙江省拖网渔船为研究对象，分析渔船一年中的作业渔场变动。拖网渔船作业状态主要分为航行、捕捞、停泊三种情况，一般在航行和停泊状态不会对渔业资源进行捕捞，因此，主要使用捕捞状态时的渔船位置对作业渔场进行分析。拖网渔船处于停泊状态时航速接近于零，处于航行状态时航速较大可达 7~8m/s，捕捞状态时航速大于零并小于航行速度，渔船功率不同其航速大小也有差异<sup>[13-15]</sup>。张胜茂等人<sup>[22]</sup>对浙江省部分拖网渔船航行状态和捕捞状态的航速和航向进行研究，给出拖网渔船航速和航向差阈值变化的研究方法。后期以浙江省 1425 艘拖网渔船为研究对象统计了在渔船功率不相同的情况下拖网渔船捕捞状态下航速的最小阈值和最大阈值，其结果在 0.5~3m/s（近似于 1~6 节）之间<sup>[28]</sup>。借助以上方法和研究结果，本节选取功率在 200~400kw，航速为 1~6 节的浙江省拖网渔船捕捞位置数据用于分析其渔场情况。首先提取功率为 200~400kw 的浙江省拖网渔船共 861 艘，删除航速小于 1 节和大于 6 节的记录，保留航速为 1~6 节数据。正常情况下，渔船 3 分钟一条记录，每小时 20 条记录，按小时进行平均，将 20 条记录的经纬度分别进行平均为一条记录，即每艘渔船每小时取 1 个点，一天 24 个点。一天工作不满 24 小时的，有几个小时的数据就会提取对应的点数。

以一个月为周期，分别提取每艘渔船每个月按小时进行平均的经纬度数据，由于 6 月和 7 月受禁渔期影响，数据仅 2000 条左右，故不研究这两个月的渔场变化，其余月份的数据均在 80000~3000000 条之间。利用 arcgis10.1 对每个月的数据进行可视化，并统计  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  格网范围内的渔船数量，将其与我国近海渔场范围进行匹配，得到每个月浙江省拖网渔船的主要分布位置，一般情况下渔船数量较多



的位置是主要的捕捞渔场位置。图 4-1 为浙江省拖网渔船除 6 月和 7 月外的主要捕捞位置图。





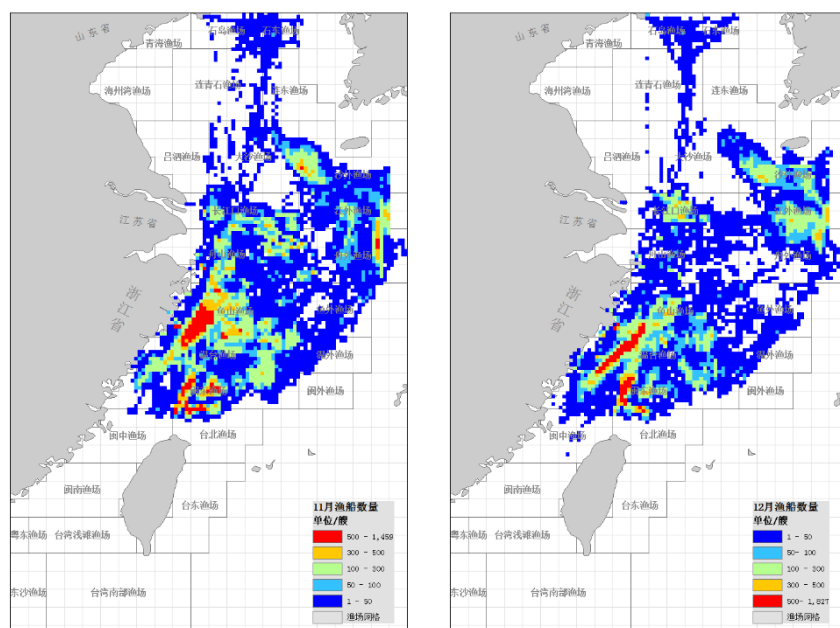


图 4-1 2014 年浙江省拖网渔船作业渔场分布示意图

Fig. 4-1 Trawler fishing grounds distribution in zhejiang province in 2014

从图 4-1 可以看出浙江省拖网渔船的捕捞范围大概在  $20^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$ ,  $117^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$ , 主要集中于  $26^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ ,  $119^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  之间。作业的渔场从北到南涉及石岛渔场、石东渔场、连青石渔场、连东渔场、吕泗渔场、大沙渔场、沙外渔场、长江口渔场、江外渔场、舟山渔场、舟外渔场、鱼山渔场、渔外渔场、温台渔场、温外渔场、闽东渔场、闽中渔场、台北渔场、闽南渔场、台湾浅滩渔场、东沙渔场和台湾南部渔场共 21 个。主要作业渔场集中在  $26^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ ,  $119^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  之间, 包括大沙渔场、沙外渔场、长江口渔场、江外渔场、舟山渔场、舟外渔场、鱼山渔场、渔外渔场、温台渔场、温外渔场、闽东渔场共 11 个。

从时空角度分析, 2、3 和 4 月份浙江省拖网渔船作业渔场主要集中在  $26^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ ,  $119^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  之间, 并向南延伸至东沙渔场和台湾南部渔场, 5 月和 8 月相对集中, 没有南北延伸现象, 9、10、11、12 和 1 月有向北延伸现象, 尤其是 9、10、11 和 12 月份渔船除了集中于  $119^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  之间的渔场作业, 北部的石岛渔场和石东渔场也要较多的捕捞现象。因此, 浙江省拖网渔船的捕捞渔场范围整体呈现以东海为中心, 向南海和黄海两边延伸的特点。

从渔船的集中分布程度看，全年渔船分布最为集中的渔场是鱼山渔场、温台渔场和闽东渔场，随着月份的改变出现渔船较为集中的渔场也会改变。除了鱼山渔场、温台渔场和闽东渔场外，11、12、1 和 2 月份会有较多的渔船集中分布在沙外渔场和江外渔场渔场。此外，长江口渔场和舟山渔场之间的渔船分布也较为密集，随月份变化会出现向南或向北移动现象。

从各渔场 2014 年渔船累积作业位置点角度看，鱼山渔场的渔船作业累积量最多，约为 600000 个位置点，其次是温台渔场、闽东渔场均在 300000 左右，舟山渔场约 200000，长江口渔场、舟外渔场、江外渔场、沙外渔场大约在 100000 个位置点左右。可见，浙江省拖网渔船主要的近海作业渔场是鱼山渔场、温台渔场、闽东渔场，其次是长江口渔场。靠近外海的作业渔场主要是舟外渔场、江外渔场、沙外渔场三个渔场。

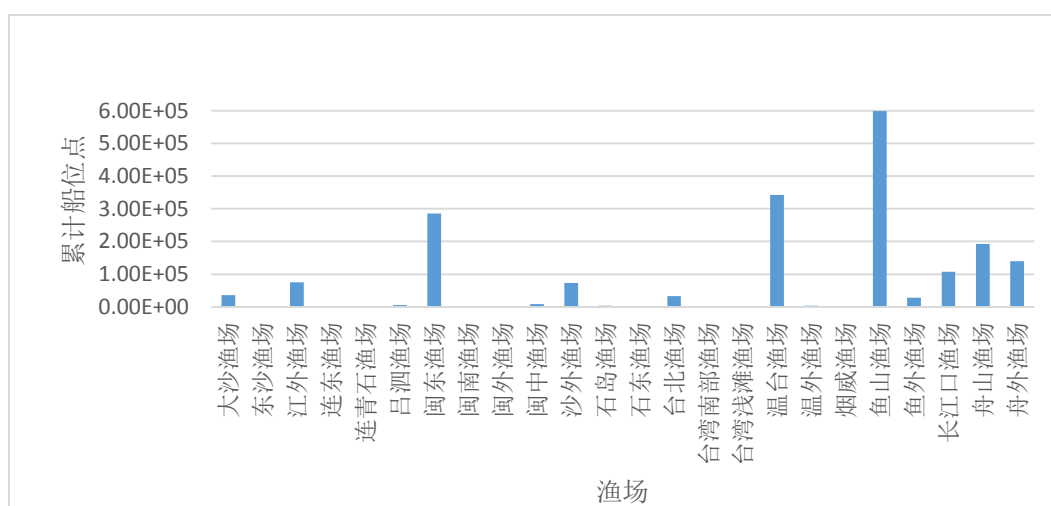


图 4-2 浙江省拖网渔船 2014 年累计作业位置点

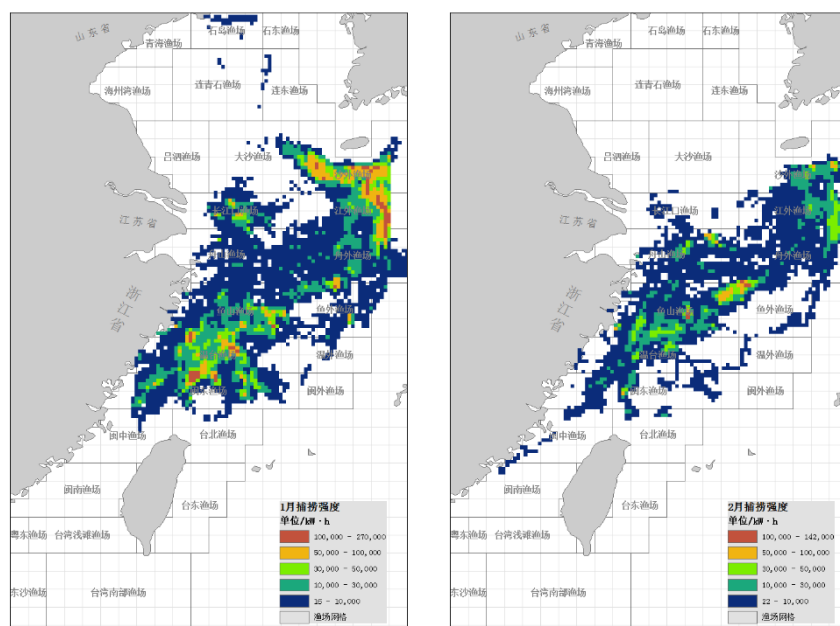
Fig. 4-2 The cumulative fishing points of trawler fishing in Zhejiang province in 2014

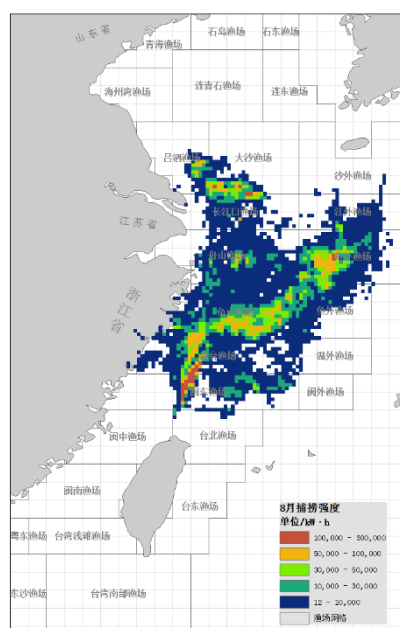
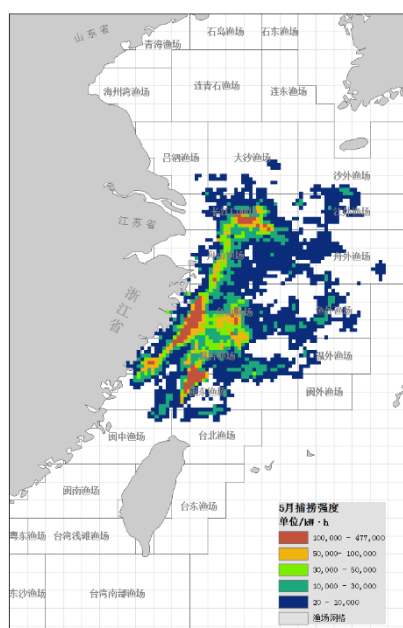
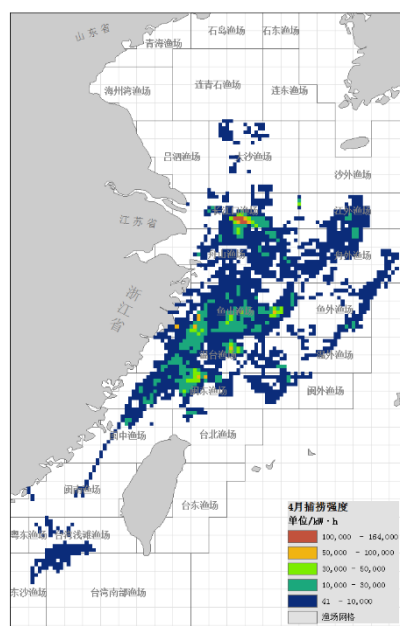
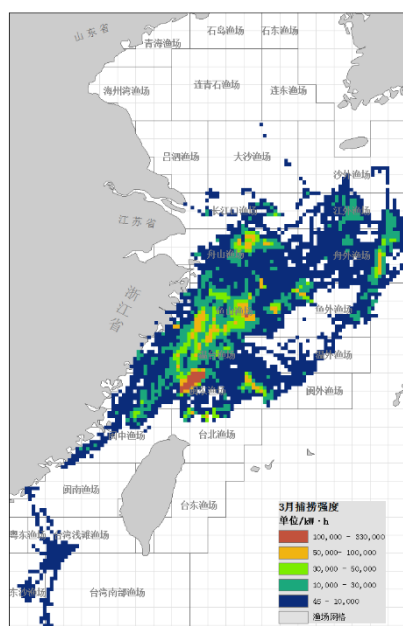
## 4.2 拖网渔船捕捞强度时空变化

在 4.1 节提取了功率为 200~400kw，航速在 1~6 节的拖网渔船，按船名进行分组统计，得到每个月每艘渔船航速在 1~6 节的记录并统计，正常情况下，北斗

3 分钟一条记录，将每艘渔船每个月的累计记录乘以 3 分钟再除以 60，得到每艘渔船每个月累计捕捞时间，单位为小时。渔船累计捕捞的强度可以通过渔船的功率乘以其对应的累计作业时间得到，再将累计捕捞强度除以 4.1 节提取的每艘渔船船位点数，得到单艘渔船每个月单个平均位置点的平均捕捞强度，具体计算主要借助公式（8）和公式（9）完成。

利用 arcgis10.1 对每个月的捕捞强度数据进行可视化，并统计  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  格网范围内的累计捕捞强度，将其与我国近海渔场范围进行匹配，得到每个月浙江省拖网渔船的捕捞强度时空变化情况。作业时间的单位是小时，渔船功率的单位是千瓦（kw），得到捕捞强度的单位为千瓦每小时（kw h）。





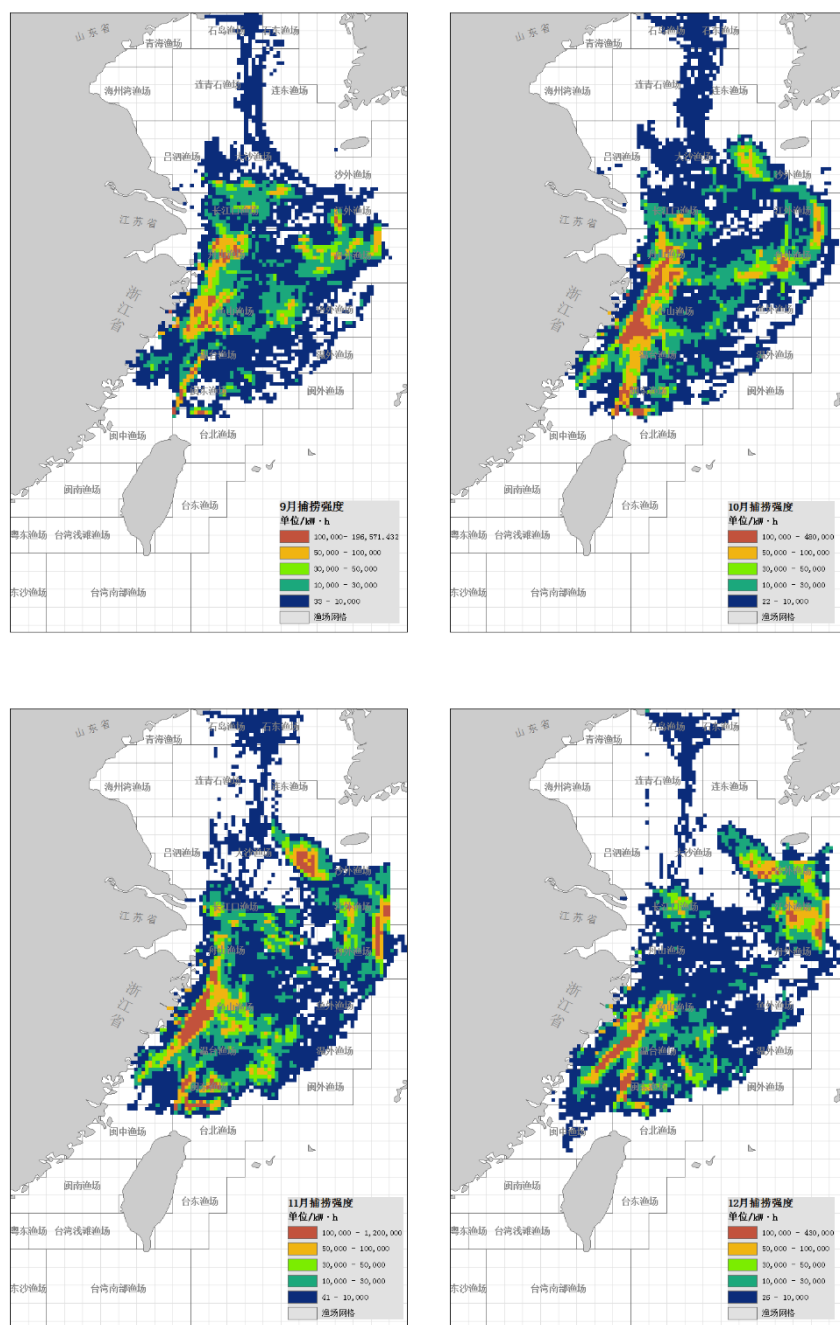


图 4-3 2014 年浙江省拖网渔船捕捞强度的时空分布示意图

Fig. 4-3 Space-time distribution of trawler fishing intensity in Zhejiang province in 2014

由于图 4-3 与图 4-1 中使用相同的渔船平均经纬度坐标, 因此各月份的渔船分布位置的范围和轮廓完全一致, 仅  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  格网中统计的对象不同, 图 4-1 统计的是渔船数量, 图 4-3 统计的是渔船对应的捕捞强度。可以看出渔船分布较密集的

位置其对应的捕捞强度值也较大, 单个  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  格网的捕捞强度变化范围也非常大, 从  $16 \sim 500000 \text{ kw h}$  均有出现。

从时间角度分析, 3、4、和 5 月份, 捕捞强度最大的渔船主要集中于鱼山渔场、温台渔场、闽东渔场, 其次是长江口渔场和舟山渔场, 其中 3 月份的江外渔场和舟外渔场捕捞强度也较周围偏大些。8 月份捕捞强度分布相对密集, 较大值出现在闽东、温台、鱼山、渔外、舟外 5 个渔场, 呈流线型由下往上延伸, 左上角的吕泗渔场、大沙渔场和长江口渔场的部分位置较大的捕捞强度值也呈现了块状分布。9、10、11 和 12 月的捕捞强度以胃状形式分布, 较大值集中于三个位置, 东西位置的较大值以条状形式沿着沿岸位置自上而下分布, 东北部位置的较大值主要位于舟外、江外和沙外三个渔场呈不规则的块状变动。西北部的较大值主要集中于长江口渔场范围附近呈块状波动。

1 月份的捕捞强度主要集中分布于东北部的江外渔场和沙外渔场以及西南部的温台渔场、闽东渔场和鱼山渔场, 且东北部的捕捞强度集中程度大于西南部。2 月份捕捞强度较大值的范围相对 1 月份有明显的减弱趋势, 最大值出现在鱼山渔场的东北角和舟外渔场的西南角, 其次是江外渔场的东部和沙外渔场的东南部。对每个月的累计捕捞强度进行统计, 可以看到 11 月的累计捕捞强度最大约 80 万  $\text{kw h}$ , 其次是 10 月约 70 万  $\text{kw h}$ , 12 月份 50 万  $\text{kw h}$ , 最小的是 2 月和 4 月, 约在 25 万  $\text{kw h}$  附近。

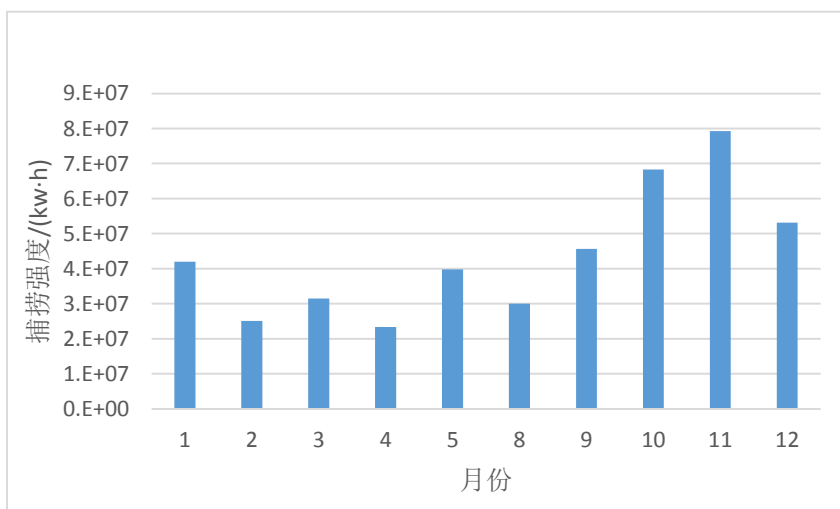


图 4-4 2014 年浙江省拖网渔船各月份捕捞强度统计

Fig. 4-4 Trawler fishing intensity statistical by month in zhejiang province in 2014



由于捕捞强度和渔船的累计位置点数相关，因此，各渔场的累计捕捞位置点数和捕捞强度呈一定的正相关。将各渔场 2014 年的累计捕捞强度进行汇总统计，其趋势变化图与图 4-2 基本相同。通过图 4-5（因为各渔场累计捕捞强度值数量级差别较大，在作图时无法直接全部显示，因此在 ARCGIS10.1 中已通过 LOG（）函数将累计捕捞强度数值转化为对数形式）可以看出个渔场 2014 年累计捕捞强度的相对大小以及各月份的捕捞情况。

图 4-5 中饼图的面积越大表明该渔场的累计捕捞强度越大，饼图的月份组成数越多，表明该渔场每年作业时间段较多。其中鱼山渔场的饼图面积最大，其次是温台渔场和闽东渔场，长江口渔场，沙外、江外、舟外和鱼外渔场等大多数外围渔场的捕捞强度也相对较大。北部的石岛渔场、连青石渔场、吕四渔场及南部的闽南渔场、东沙渔场等捕捞强度都相对很小。从各渔船的作业时间段看，依然是鱼山渔场、温台渔场、闽东渔场、长江口渔场、沙外渔场、江外渔场、舟外渔场和鱼外渔场的等中部渔场较多，基本 1~5 月，8~12 月都有作业，北部的石岛渔场、连青石渔场、吕四渔场等基本在 9~12 月以及 1 月份有作业，南部的闽南渔场、东沙渔场、台湾南部渔场等仅在 3 月或者 4 月份才会有作业。因此，2014 年浙江省拖网渔船作业的时空分布主要呈现，由北向南，中间宽，两头窄小的条带状分布。即以东海为中心、具有较高的捕捞强度和较多的作业时间段、向北至石岛渔场和石东渔场、捕捞强度和作业时间段都较小，向南至东沙渔场、台湾南部渔场，仅 3 月和 4 月份有作业且强度较小。

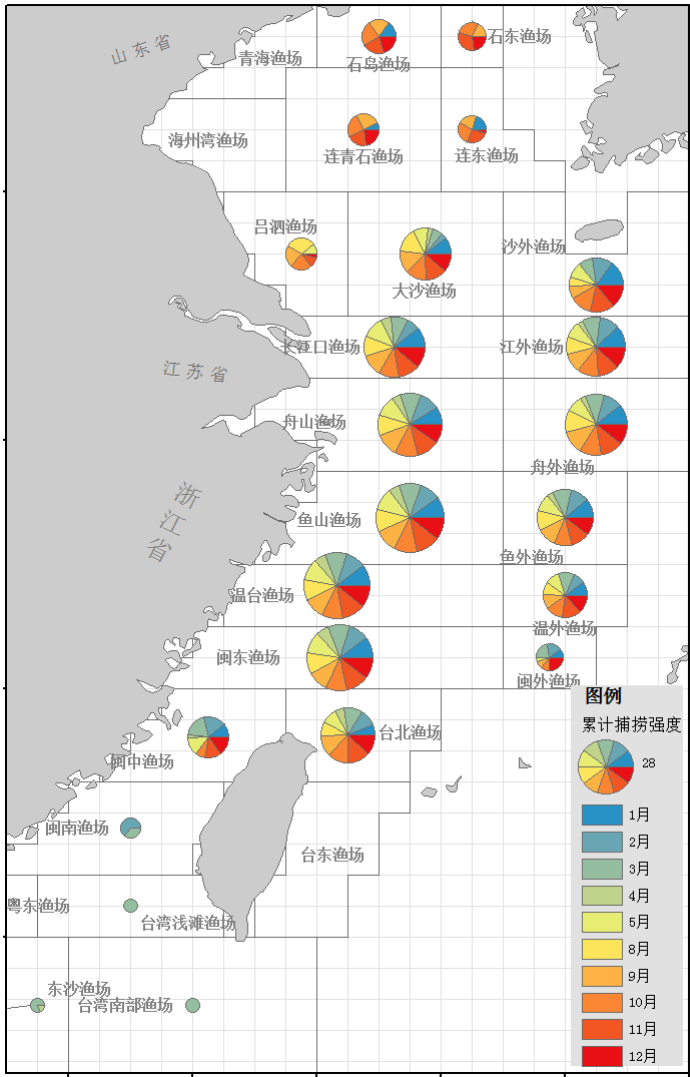


图 4-5 2014 年浙江省拖网渔船在近海渔场累计捕捞强度分布

Fig. 4-5 Trawler fishing intensity statistical by month of Zhejiang province on different fishing grounds in 2014

4. 3 渔船作业渔场台风情况

2012 年中国渔业统计年鉴显示，全年沉船 874 艘，船损 4333 艘，其中失踪人数 55 人，死亡 78 人，重伤 31 人，总计 164 人，沉船造成的直接经济损失 2,283.39 万元，船损造成经济损失 7,862.76 万元，总计 10146.75 万元<sup>[59]</sup>。渔业作为公认的风险大、死亡率高的产业，全球每年每 10 万名渔民中有 80 人死于各种

事故<sup>[60]</sup>，我国渔船船员平均每年每 10 万人死亡 160 人，死亡率比煤矿工高 2 倍以上<sup>[6]</sup>。渔船事故主要由渔船碰撞、台风、海浪等外部环境以及不正规的操作等原因导致<sup>[61]</sup>。台风作为我国风暴潮灾害的主要组成部分严重威胁我国的渔业生产和安全。本节及下节以 2009-2013 年台风数据研究近海渔场遭遇台风情况并以宁波市象山县渔船为例分析台风过程中渔船轨迹变化特征，其意义在于能进一步了解我国近海渔场遭遇台风情况以及台风过程中渔船作业的状态变化，以期为渔业生产管理提供参考。

#### 4.3.1 台风数据

本节的台风数据来源于中国台风网，包括 2009-2013 年中国近海热带气旋形成的时间、强度、路径信息。由于台风数据仅到 2013 年，可收集的对应船位数据及渔业生产数据也仅限于 2013 年浙江省宁波市象山县渔船，下文的研究也以浙江省宁波市象山县渔船为例。浙江省象山县渔船的北斗数据不包括在上文研究的北斗星通数据库，而在普适导航公司的北斗数据库中，下文的分析均基于 2013 年普适导航北斗数据库可提取的象山县船位数据，其数据结构及相关特点与前文北斗星通公司数据一致，渔船数据主要包括船名、船速、航向、经纬度位置以及发报时间等，该数据库各种捕捞类型的渔船总数约在 3000 艘左右且以拖网渔船为主<sup>[28]</sup>，数量相对较少，下文研究不再考虑渔船捕捞类型，而是以整体数据为主。渔场数据包括渔场的位置、编号以及名称等。

#### 4.3.2 渔场台风统计

##### 1 数量分析

借助 ARCGIS 中属性表关联功能，以经纬度为关联字段，对渔场和台风进行关联匹配，统计 2009-2013 年近海所有渔场遭遇的台风数（图 4-6）。结果显示全国 52 个渔场中有 47 个渔场在 2009-2013 年遭遇台风，占总数的 90.38%，5 年内 47 个渔场共遭遇台风袭击 337 次，平均每个渔场 7 次，即单个渔场每年至少遭遇一

次台风，而中沙东部渔场 5 年内共遇台风 27 次，占总数的 8%，属于遭遇台风的热点区域。

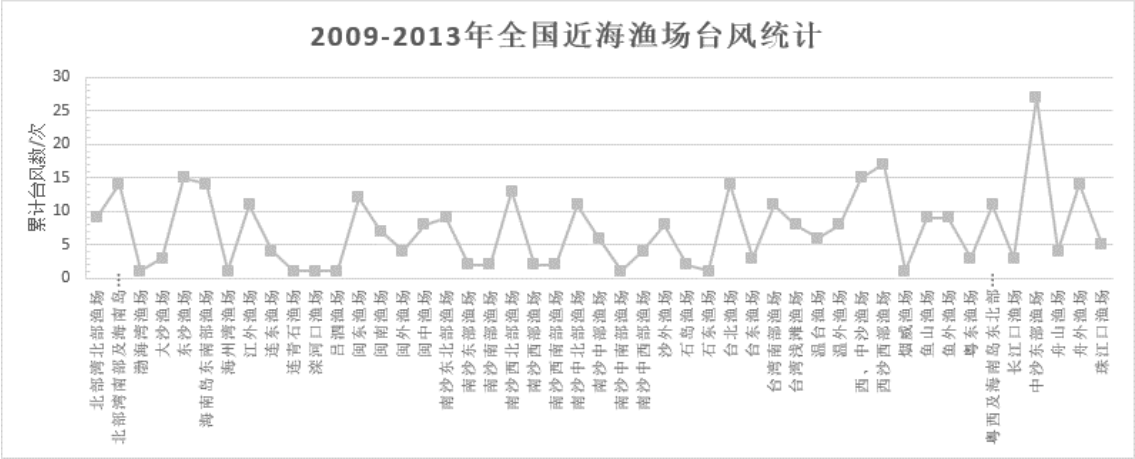


图 4-6 2009-2013 年全国近海渔场遭遇台风情况

Fig. 4-6Typhoon statistics of offshore fishing ground in China in 2009-2013

2 典型的台风渔场

依据遭遇台风袭击的频率和数量特征，将 5 年内累计遭遇台风次数 10 次以上或每年都会遭遇台风的渔场挑选出来（表 4-1），由于该类渔场发生台风的概率和频率较高因此将其称为典型台风渔场。

表 4-1 2009-2013 年近海遭遇台风频率和数量较高的渔场

Table 4-1 Fishing grounds in China offshore with higher frequency or number typhoon in2009-2013

名称	2009	2010	2011	2012	2013	总计
东沙渔场	2	4	3	4	2	15
江外渔场	2	2	1	4	2	11
闽东渔场	4	1	1	2	4	12
闽中渔场	2	1	1	2	2	8
沙外渔场	2	2	1	1	2	8
台北渔场	5	1	1	2	5	14
温外渔场	2	2	1	1	2	8
舟外渔场	4	3	1	3	3	14
鱼外渔场	2	3	1	1	2	9
台湾南部渔场	2	3	2	2	2	11
西、中沙渔场	5	2	1	2	5	15

西沙西部渔场	6	2	2	1	6	17
中沙东部渔场	5	4	7	5	6	27
南沙东北部渔场	2	1	1	3	2	9
南沙西北部渔场	4	1	1	3	4	13
南沙中北部渔场	4		1	2	4	11
海南岛东南部渔场	4	2	3	1	4	14
粤西及海南岛 东北部渔场	3	2	2	1	3	11
北部湾南部及 海南岛西南部渔场	4	3	3		4	14
总 计	64	38	35	40	64	241

表 4-1 统计了符合条件的 19 个典型台风渔场, 为了进一步说明典型台风渔场遭遇台风的频率和数量在所有渔场中占有较高的比重, 现将 19 个渔场每年遭遇的台风总数与当年所有渔场遭遇的台风总数进行百分比计算, 结果分别为 80%、69.1%、59.3%、59.7%、84.2%, 累计占总数的百分比为 72%, 因此不论是逐年还是 5 年内, 典型台风渔场的台风总数均占到所有渔场台风总数的 59% 及以上, 属于台风高发区域。

表 4-2 19 个典型台风渔场的台风总数占所有渔场台风总数的比重

Table 4-2 Proportion of 19 typical typhoon fisheries typhoon and all fisheries typhoon

年份	2009	2010	2011	2012	2013	总计
所有渔场台风总数	80	55	59	67	76	377
典型台风渔场台风数	64	38	35	40	64	241
比例	80%	69.1%	59.3%	59.7%	84.2%	72%

典型台风渔场中, 累计台风数最多的是中沙东部渔场为 27, 其次北部湾南部及海南岛西南部渔场、东沙渔场、海南岛东南部渔场、江外渔场、闽东渔场、南沙西北部渔场、南沙中北部渔场、台北渔场、台湾南部渔场、西、中沙渔场、西沙西部渔场、粤西及海南岛东北部渔场和舟外渔场共 13 个渔场的台风数均在 11~17 之间, 平均每年发生台风 2 次以上。

### 3 台风对渔船作业的影响

以宁波市象山县的渔船为例研究台风对渔船作业过程以及渔业生产的影响。从北斗船位数据中选取 2013 年 1-12 月每月 10 号 10:00-10:15 的时间段内所有象山渔船的位置数据（此处的日期和时间段均为随机提取），将其与渔场进行空间匹配，得到象山渔船的作业渔场有 16 个，其中主要的作业位置是鱼山渔场、鱼外渔场、舟山渔场、舟外渔场和温台渔场，此外在长江口渔场、江外渔场的作业也较为频繁，作业位置最北到石岛渔场最南到北部湾南部及海南岛西南部渔场，跨越的空间范围较大。该结果与 4.1 节利用北斗星通数据库提取的浙江省拖网渔船主要作业渔场的分布具有一致性，4.1 节中浙江省拖网主要作业渔场集中在  $26^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ ， $119^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  之间，包括大沙渔场、沙外渔场、长江口渔场、江外渔场、舟山渔场、舟外渔场、鱼山渔场、渔外渔场、温台渔场、温外渔场、闽东渔场共 11 个，基于象山县渔船提取的渔场范围包含在浙江省拖网主要作业渔场范围内。

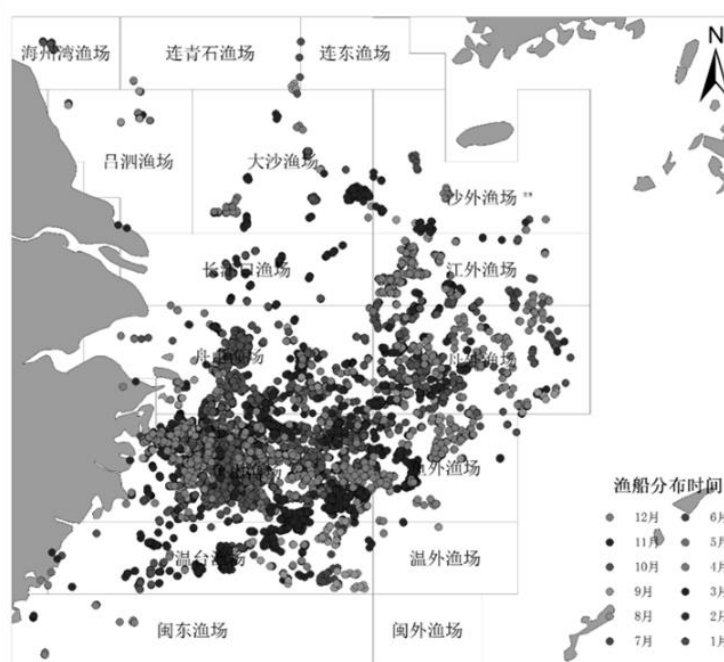


图 4-7 2013 年 1-12 月象山渔船主要作业位置分布示意图

Fig. 4-7 The main position distribution of Xiangshan fishing operations in 2013

结合图 4-7 和图 4-1，浙江省渔船主要的 11 个作业渔场即大沙渔场、沙外渔

场、长江口渔场、江外渔场、舟山渔场、舟外渔场、鱼山渔场、渔外渔场、温台渔场、温外渔场、闽东渔场的台风状况进行分析可知，其中的舟外渔场、鱼外渔场、江外渔场、温外渔场以及闽东渔场共 5 个属于全国典型的台风渔场。5 年间，舟外渔场台风数为 14 次，闽东渔场 12 次，江外渔场 11 次，鱼外渔场为 9 次，温外渔场 8 次，累计 54 次。可见浙江省渔船主要作业渔场的位置多位于台风频发区，对渔船海上作业带来的安全隐患也相对较高。



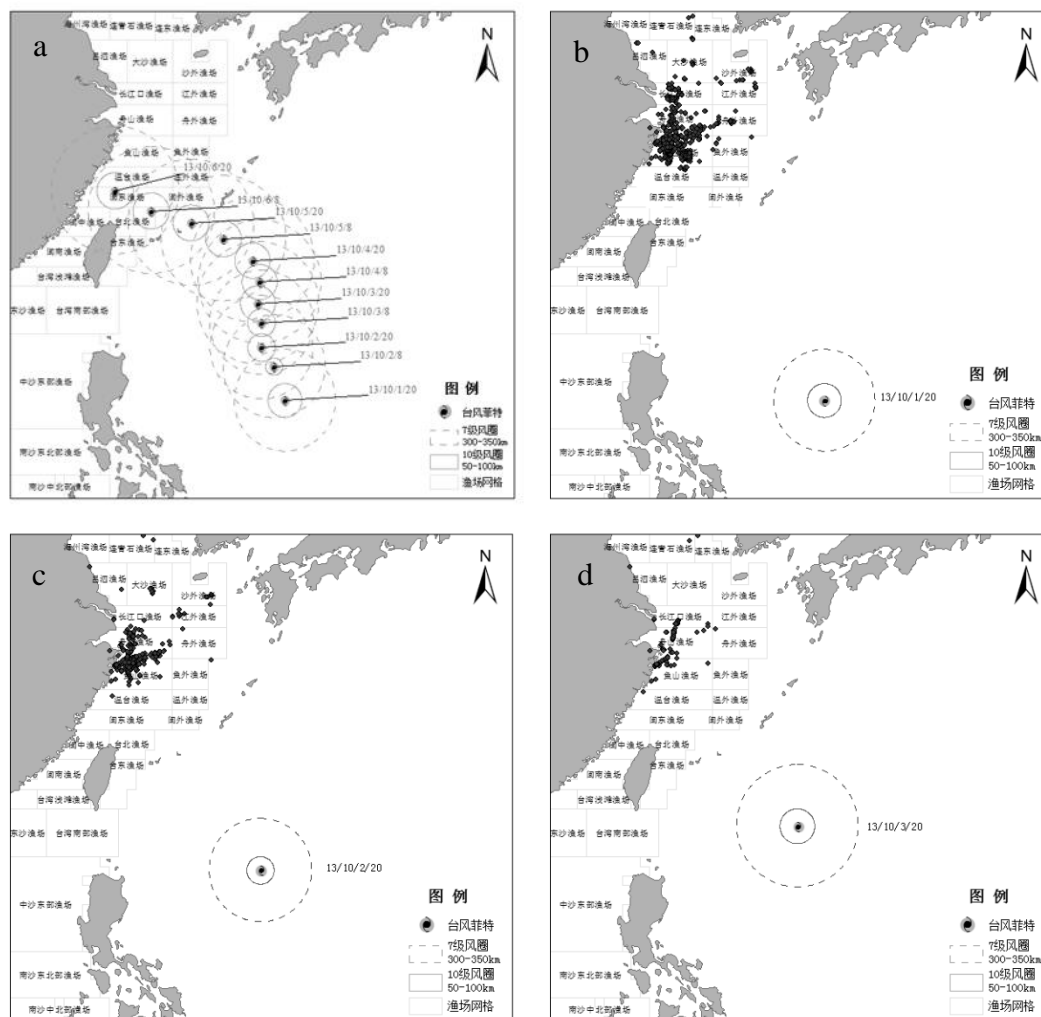
图 4-8 2009-2013 年象山渔船主要作业渔场台风统计示意图

Fig. 4-8 Typhoon statistics of the main fishing ground of Xiangshan fishing operations in 2009-2013

## 4. 4 台风对渔船作业影响分析

### 4. 4. 1 台风过程渔船轨迹变化

以 2013 年台风“菲特”为例研究台风过程中渔船作业特点。台风数据主要包括时间（2013.10.1 20:00—2013.10.6 23:00）、位置、以及瞬时的 7 级和 10 级风圈半径。数据的时间分辨率为 3 小时记录一次台风位置，根据研究情况将时间分辨率扩大到 12 小时，即每隔 12 个小时提取一次台风和渔船的位置数据，分析台风势





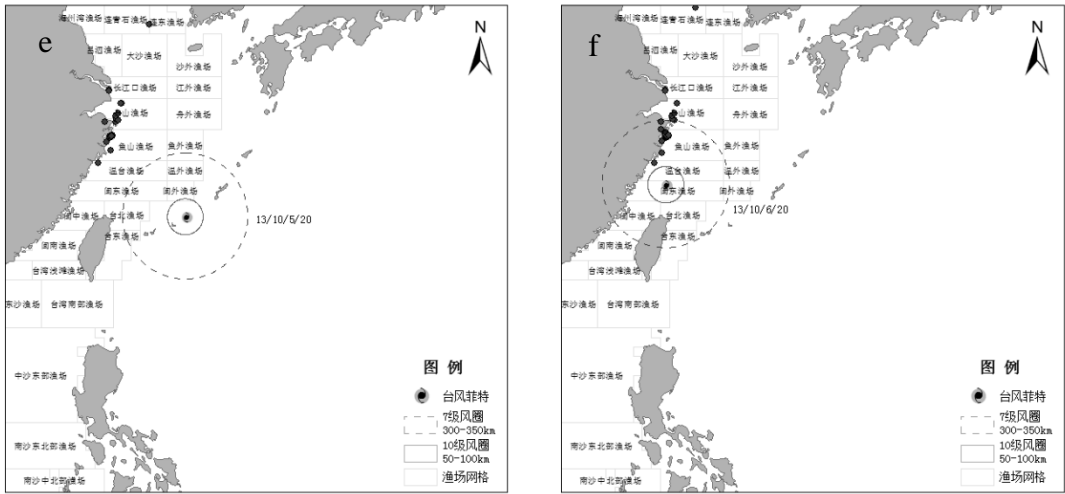


图 4-9 台风势力范围和渔船的位置关系示意图

Fig.4-9 The position relationship between typhoon influence scope and fishing boats

上图中，4-9（a）为 2013.10.1 20:00-2013.10.6 20:00 时间段台风位置及风圈势力范围，较小的实线圆为自台风中心点起 10 级风圈范围（50-100km），即在该范围内台风引起的风力达 10 级，较大的虚线圆为自台风中心点起 7 级风圈范围(300-350km)，在该范围内台风引起的风力达 7 级。根据蒲氏风力等级表<sup>[62]</sup>，当风力达到 6 级时海面浪高 3.0~4.0m 渔船加倍缩帆，捕鱼时须注意风险；当风力达到 7 级时海面浪高 4.0~5.5m，渔船需停港中，在海者下锚；风力达到 10 级时海面浪高 9.0~12.5m，汽船航行颇困难。因此为了保证渔船的安全，需要在台风来临时保证其处于安全的风力等级范围内。

根据台风和渔船移动情况可以看出 2013/10/1/20: 00 渔船已经开始陆续返回，此时台风离近海渔场较远，2013/10/5/20: 00 台风 7 级风圈范围已经影响到外围渔场，陆续返回的渔船大部分已经回港，只有小部分还在港口附近，到 10/6/20: 00，港口附近的船只处于 10 级风圈范围附近。

#### 4. 4. 2 台风引起的渔船险情分析

分析 2012 年象山渔业海难救助信息，数据显示 2012 年明确记载由台风引起的渔船险情共 5 起，均为 8 月的同一个台风海葵引起，将 8 月份所有渔船险情及险情原因、救助人数、投入费用统计如下表 3。

表 4-3 2012 年 8 月象山县渔船险情统计

Table 4-3 Xiangshan fishing boats danger statistics in August 2012

被救船舶	救助人数/位	投入总救助费用/万元	事故原因
浙象渔运 0178	5	5	台风
浙象渔 0060	3	2.5	台风
浙象渔 0192	4	3	台风
浙象渔运 0165	5	0.3	台风
浙象渔 0193	6	1	台风
浙象渔 0003	5	0.13	螺旋桨故障
浙象渔 0013	6	0.6	螺旋桨故障
浙象渔 0001	6	0.4	主机故障
浙象渔 4006	6	0.2	车叶受损
浙象渔 2059	6	0.4	螺旋桨故障
浙象渔 9021	1	5	船员重伤
浙象渔 7089	7	1	螺旋桨故障
总计	60	19.53	

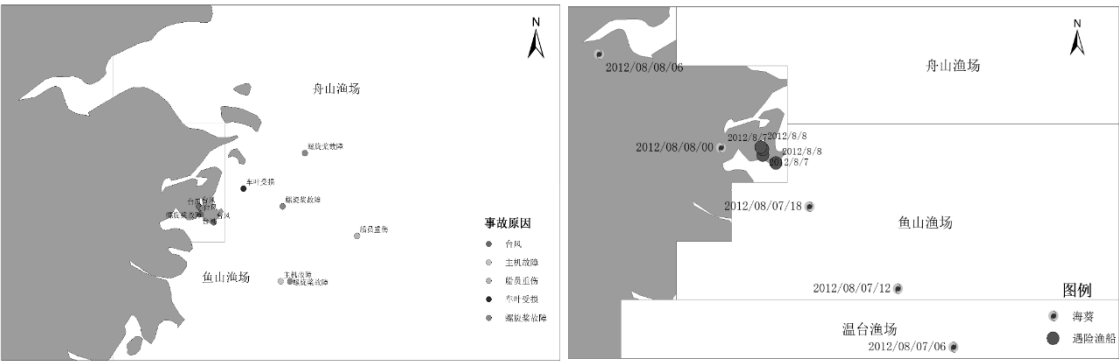


图 4-10 渔船遇险位置及台风路径示意图

Fig.4-10 Accident position of fishing boats and typhoon path

图 4-10 显示，8 月份的台风险情全部集中于港口附近，其它原因导致的险情主要位于作业渔场。从 8 月 7 日 18: 00 到 8 日 24:00，台风中心穿过港口，对风圈内的渔船造成险情。可见，当较强的台风来临时即便渔船已位于港口或港口附近也不一定安全，渔船安全与否取决于其与台风中心的位置、台风的强度以及自身的抗灾能力等。

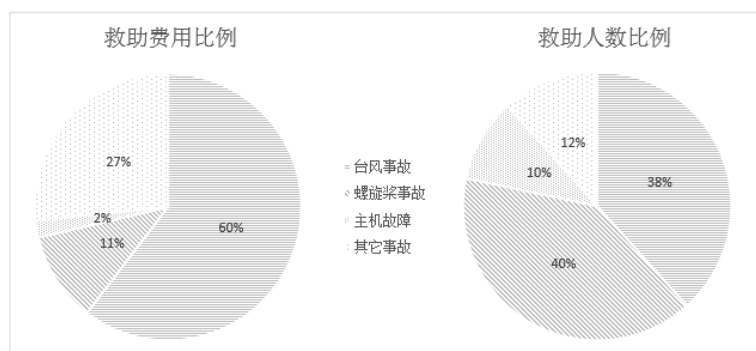


图 4-11 险情救助费用及救助人数比例

Fig 4-11 Proportion of danger salvage charges and people number

险情中由台风引起的救助人数为 23 人，占总人数的 38%，由螺旋桨故障救助的人数为 24 人，占总数 40%。8 月是台风高发期，台风过境引起的天气变化和海洋环境的变化对渔船作业影响较大，特别是海洋环境的改变可能会增加渔船遇险次数，因此台风带来的渔船险情可能超过单纯的记录数据。此外，虽然台风引起的险情只有 5 起，约占总事故的 42%，但从救助费用看，台风引起的险情救援费用占到总数的 60%。数据表明，相比一般的机器类故障，台风造成的经济损失更大。

#### 4.4.3 小结

4.3 和 4.4 节主要分析了 2009-2013 年我国近海 52 个渔场遭遇的台风情况，并以宁波市象山县渔船为例研究了地方性渔船主要作业渔场的台风情况，以及台风对渔船作业和生产的影响。

结果表明，2009-2013 年全国近海 52 个渔场中有 47 个渔场遭遇台风，占总数的 90.38%，累计遭遇台风袭击 337 次，单个渔场平均每年至少遭遇一次台风，而中沙东部渔场遭遇台风最为严重，属于遭遇台风的热点区域。同时，根据遭遇台风的频率和数量特征选出了 19 个典型台风渔场。通过北斗船位数据确定了象山渔船主要作业渔场及其台风情况，11 个主要作业渔场中有 5 个典型台风渔场，因此台风对渔业生产和安全的影响较大。台风过程中渔船的作业特点是提前返港或寻找安全区域主动避让<sup>[63]</sup>，但由台风引起的险情依然频发，主要原因包括渔船返回不及时、寻找的安全位置不准确、台风势力较强、船体损坏以及无法及时救援等<sup>[64]</sup>。

此外,与其它渔船险情相比,台风险情造成的生命和财产安全问题更加危急和严重<sup>[65]</sup>。

为了更好的应对台风威胁保障渔业生产过程中的生命财产安全,应该继续推进以下几个方面的建设和发展:(1)提高渔民的生产技能和文化素养,优化渔民的组成结构,培养渔民的合法、安全和科学捕鱼意识<sup>[66]</sup>;(2)加强船用通讯设备的安装和使用,提高渔船监测和管理的效率<sup>[67]</sup>;(3)开发实时的船用台风预警系统,目前基于船位数据的渔船管理和监测系统开发已相对成熟但实时性的用于渔船台风预警的决策系统缺乏,无法满足生产需要;(4)完善渔业生产险情的救援体系,除了相关管理部门的救援应急预案,对于渔船互助组间的帮助和救援可以给予一定方式的鼓励和支持。

## 第五章 总结与展望

### 5.1 总结

本研究从渔船数量、捕捞类型、地域分布、属性字段等角度对北斗渔船和 VMS 数据进行了系统的分析,填补了国内目前该项研究的空白;首次尝试利用航速、航向变化表征渔船捕捞方式的差异性并构建神经网络模型,完成捕捞方式的识别工作;利用 VMS 数据完成了拖网渔船捕捞强度算法模型的构建,克服了以往根据渔捞日志计算捕捞强度的局限性,可从空间和时间角度提高捕捞强度计算的时效性和精确性;完成了基于 VMS 数据确定拖网渔船捕捞位置的时空变化,对研究拖网渔船作业渔场的年际变动具有一定的意义,可对以往利用渔捞日志预测渔场的方法进行补充验证。

本研究的主要结果包括以下几个方面:

1) 北斗星通数据库中的北斗渔船约 35500 艘,捕捞类型共八种,渔船主要来自 13 个省市。35500 艘北斗渔船中,11708 艘有捕捞类型信息,按我国主要网具类型对其归类,可得到 8 种作业类型,刺网和拖网渔船数据最多在 4600 艘左右,围网渔船 990 艘,张网渔船 270 艘,其余低于 200 艘。渔船主要来自 13 个省市,浙江省最多为 9710 艘,包括拖网、刺网、张网、围网、笼壶、杂渔具和钓具共 7 种作业类型,其中拖网渔船数量最多为 1522 艘,刺网渔船 365 艘,笼壶、张网渔船数在 100 上下,围网、杂渔具、钓具渔船均低于 60 艘。山东省 7171 艘,海南省 6054 艘,辽宁、广西、广东和江苏省渔船数均在 2000~3000 艘,上海、福建、天津、港澳门的渔船数量在 100~300 艘,江西省不足 100 艘,其它渔政、海监、运输、养殖等共 812 艘。

2) 相关性分析认为浙江省拖网、流刺网和张网渔船各自的航速、航向变化在航行和捕捞过程中存在一定的同步性,仅张网渔船的航速、航向之间存在显著的弱的弱相关性。当船长为 27 米,功率为 200 千瓦,拖网渔船作业速度维持在 2~

6 节, 航行速度主要维持在 8~10 节, 航向主要集中在  $0^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$  和  $350^{\circ}$  附近; 流刺网渔船作业时速度维持在 1~2 节, 航行速度为 8~10 节, 航向波动相对集中在  $350^{\circ}$  和  $30^{\circ}$  附近; 张网渔船作业时航速一般在 0~8 节内波动, 航向在  $0^{\circ}$  ~  $350^{\circ}$  波动, 航行时速度为 9 节左右, 航向集中在  $50^{\circ}$  附近。

3) ARCGIS 可视化分析显示拖网、流刺网和张网渔船的轨迹变化差异明显。拖网渔船的作业轨迹呈现连续性的线状延续且轨迹点交叉重叠较多, 作业面积也较大; 流刺网渔船作业轨迹呈现线状但单次作业的轨迹长度较短, 每次作业位置相对分离; 张网渔船作业轨迹基本呈现点状, 作业范围非常小。经纬度变化方面, 流刺网、张网变化的同步性较为一致, 特征明显, 可通过经纬度判断作业航次、作业状态等特征; 拖网渔船作业时, 经度和纬度中仅有一个变化较为显著, 这与拖网渔船作业时一般向一个方向前进相关。相关性检验时, 流刺网、张网的经度和纬度分别存在相关系数为 0.54 和 0.6 的显著相关性, 拖网的经度和纬度仅存在 -0.086 的显著的弱相关性。

4) BP 神经网络模型结合航速、航向可用于拖网、流刺网和张网渔船的捕捞方式识别, 总体识别精度大于 90%。航速的分类效果优于航向, 且二者对拖网渔船的分类效果最好平均精度约 97%, 其次是张网渔船平均分类精度约 95%, 流刺网渔船的平均分类精度约 70%。

5) 基于 ARCGIS 和经纬度数据得到浙江省拖网渔船近海作业主要位于鱼山渔场、温台渔场、闽东渔场和长江口渔场, 外海作业主要位于舟外渔场、江外渔场和沙外渔场。2014 年浙江省拖网渔船作业时空分布主要呈现由北向南, 中间宽, 两头窄小的条带状分布。即以东海的鱼山渔场、温台渔场为中心、具有较高的捕捞强度和较多的作业时间段、向北至石岛渔场和石东渔场、捕捞强度和作业时间段都较小, 向南至东沙渔场、台湾南部渔场, 仅 3 月和 4 月份有作业且强度较小。

6) 基于台风、VMS 和渔船险情数据分析显示台风发生时渔船集体出现返岗现象, 台风引起的渔船险情多发生在港口附近, 且台风造成的人员伤亡和财产损失要远远大于其它险情。为了更好的应对台风威胁保障渔业生产中的生命和财产安全, 应从培养渔民生产技能、加强渔船监管、开发渔船台风预警系统和完善险情救援体

系等方面努力和改善。

## 5.2 展望

由于渔业数据和船位数据的限制，本文的研究对象和研究范围主要限定在浙江省拖网、流刺网和张网渔船，且由于缺少渔捞数据作为对照，模型的精确性还有待验证，后期研究可以考虑扩大研究对象和样本。除了本文已有的研究角度外还可以考虑从以下角度对北斗渔船监测数据进行扩展研究：

1) 结合渔捞日志和作业时间，对更多的渔船作业类型进行状态判断，在收集足够的数据样本情况下可建立状态分类模型，实现航行、作业、停泊等状态的自动化识别。

2) 由于拖网、流刺网渔船的航速、航向之间不存在相关性，可以将二者同时作为输入因子建立神经网络模型(张网渔船的航速、航向之间存在显著的较弱的负相关性因此不能同时用于建模)，比较模型分类精度；或者考虑使用支持向量机、基于规则的分类方法等进行建模，比较不同模型的效果。

3) 对作业类型进行分类时，除了航速、航向以外还可以考虑加入水深、离岸距离等因素。

## 参考文献

- [1] 赵丽丽. 中国基于社区的渔业管理研究[D]. 中国海洋大学, 2009.
- [2] 《中国水产》编辑部. 从工业化革命到渔船现代化回望辛亥百年中国渔船事业之发展[J]. 中国水产, 2011, 11:4-7.
- [3] 中华人民共和国农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴(2014). 中国农业出版社, p.3.
- [4] 胡刚, 马昕, 范秋燕. 北斗卫星导航系统在海洋渔业上的应用[J]. 渔业现代化, 2010, 01:60-62.
- [5] 卓立. 渔业船舶海上搜救现状的分析与对策[J]. 中国海事, 2006, 12:54-58.
- [6] 张祝利, 郑熠, 王君. 我国渔船作业过程事故分析与措施建议[J]. 中国渔业质量与标准, 2012, 02(1):47-51.
- [7] 刘晓静. 我国与沿海邻国渔业争端的国际法分析[D]. 西南政法大学, 2013.
- [8] 黄海广, 胡乃军, 仇志金, 等. 基于多源定位数据的实时船舶监控系统设计[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2015, 46(9):122-129.
- [9] 张寿桂, 彭国均. 海监船舶导航与监控管理信息系统[J]. 上海海事大学学报, 2006, 3(3):31-35.
- [10] 贾杰峰. 多模拟卫星自组织网络时间同步技术研究 with 实现[D]. 西安电子科技大学, 2014.
- [11] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的发展及其应用[C]// 中国科学院学部学术年会. 2012.
- [12] 胡刚, 马昕, 范秋燕. 北斗卫星导航系统在海洋渔业上的应用[J]. 渔业现代化, 2010, 37(1):60-62.
- [13] The High Seas Task Force OECD, Paris. Fishing Vessel Monitoring Systems: Past, Present and Future[C/OL]. [http://www.imcsnet.org/imcs/docs/fishing\\_vessel\\_monitoring\\_systems\\_past\\_present\\_future.pdf](http://www.imcsnet.org/imcs/docs/fishing_vessel_monitoring_systems_past_present_future.pdf).
- [14] Mills C, Rogers S I, Tasker M L, et al. Developing the use of satellite fishing vessel monitoring system data in spatial management[C]//ICES J. Mar. Sci. Annual Science Conference, 2004, 22:25.
- [15] EC. Council Regulation (EC) No. 1224/2009 of 20 November 2009 establishing a community control system for ensuring compliance with the rules of the common fisheries policy[J]. Official Journal of the European Union 2009, L343/1.
- [16] Witt M J, Godley B J. A Step Towards Seascape Scale Conservation: Using Vessel Monitoring Systems (VMS) to Map Fishing Activity[J]. Plos One, 2007, 2(10):e1111-e1111.
- [17] Deng R, Dichmont C, Milton D, et al. Can vessel monitoring system data also be used to study trawling intensity and population depletion? The example of Australia's northern prawn fishery[J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 2005,



- 62:611-622(12).
- [18]Joo R, Bertrand S, Chaigneau A, et al. Optimization of an artificial neural network for identifying fishing set positions from VMS data: An example from the Peruvian anchovy purse seine fishery. *Ecological Modelling*[J]. 2011,222(4):1048-59.
- [19]Russo T, Parisi A, Prorgi M, et al. When behaviour reveals activity: Assigning fishing effort to m tiers based on VMS data using artificial neural networks. *Fisheries Research*[J]. 2011,111(1-2):53-64.
- [20]Joo R, Salcedo O, Gutierrez M, et al. Defining fishing spatial strategies from VMS data: Insights from the world's largest monospecific fishery[J]. *Fisheries Research*, 2015, 164:223-230.
- [21]Mendes B, Campos A, Fonseca P, et al. Fleet spatial dynamics in Portuguese fish trawlers-modelling the individual decision to return to previous fishing grounds areas[J]. 2009, ICES CM 2009/O: 27.
- [22]Jennings S, Lee J. Defining fishing grounds with vessel monitoring system data[J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2012, 69(1):51-63.
- [23]Lambert G I, Jennings S, Hiddink J G, et al. Implications of using alternative methods of vessel monitoring system (VMS) data analysis to describe fishing activities and impacts[J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2012, 69(4):682-693.
- [24]Hinz H, Prieto V, Kaiser M J. Trawl disturbance on benthic communities: chronic effects and experimental predictions [J]. *Ecological Applications a Publication of the Ecological Society of America*, 2009, 19(3):761-773.
- [25]Chang S K. Application of a vessel monitoring system to advance sustainable fisheries management--Benefits received in Taiwan[J]. *Marine Policy*, 2011, 35(2):116-121.
- [26]张胜茂,唐峰华,张衡,等.基于北斗船位数据的拖网捕捞追溯方法研究[J].*南方水产*.2014,10(3):15-23.
- [27]张胜茂,崔雪森,伍玉梅,等. 基于北斗卫星船位数据分析象山拖网捕捞时空特征 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7):151-156.
- [28]张胜茂,杨胜龙,戴阳,等. 北斗船位数据提取拖网捕捞努力量算法研究[J]. *水产学报*, 2014, 38(8): 1190-1199.
- [29]施闯,赵齐乐,李敏,等. 北斗卫星导航系统的精密定轨与定位研究[J].*中国科学: 地球科学*,2012,42(6): 854-861.
- [30]杨元喜,李金龙,王爱兵,等. 北斗区域卫星导航系统基本导航定位性能初步评估 [J]. *中国科学:地球科学*,2014,44(1):72-81.
- [31]韩力群.人工神经网络理论、设计及应用[M]// 化学工业出版社, 2007.
- [32]祝媛. 小波分析与混沌理论在大气环境质量预测中的研究[D]. 西南科技大学, 2014.
- [33]高隽.人工神经网络原理及仿真实例[M]// 机械工业出版社, 2007.
- [34]MATLAB 中文论坛. MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M]// MATLAB 神经网络 30 个案例分析.北京:北京航空航天大学,2010:24-25.
- [35]刘晓辉. 基于预测控制的球杆系统控制方法研究[D]. 东北大学, 2011.

- [36]童飞. 基于 BP 神经网络的水上交通事故预测及 MATLAB 实现[D]. 武汉理工大学, 2005.
- [37]Hecht Nielson R. NeuroeomPuting. Addison Wesley, 1990.
- [38]杨新佳. 基于神经网络的教学质量评价模型研究[D]. 西安科技大学, 2011.
- [39]廖宁放,高稚允.BP 神经网络用于函数逼近的最佳隐层结构.北京理工大学学报,1998.18(4):476-480.
- [40]李耀勇,郑南宁.前馈神经网络的隐节点个数与网络推广能力的关系.西安交通大学学报,1996.30(9):20-23.
- [41]曹磊. 我国 C2C 网络购物模式下顾客忠诚度影响因素研究[D]. 同济大学经济与管理学院 同济大学, 2009.
- [42]中国农业部.《中国渔业捕捞管理许可规定》(2008) .
- [43]张健, 孙满昌, 钱卫国. 桁拖网不同网目结构网囊对主要鱼类的选择性研究[J]. 上海水产大学学报, 2008, 04:457-463.
- [44]中华人民共和国东海区渔政局.东海区海洋捕捞渔具宣传画册.2014,06.
- [45]张健, 孙满昌, 钱卫国,等. 张网渔具选择性模型的探讨[J].海洋渔业,2004,01:1-8.
- [46]张健, 孙满昌. 刺网渔具选择性研究进展[J]. 中国水产科学, 2006,6:1040-1048.
- [47]Vermard Y, Rivot E, Mah évas S, et al. Identifying fishing trip behavior and estimating fishing effort from VMS data using Bayesian Hidden Markov Models[J]. Ecological Modelling,2010,221(17):1757-1769.
- [48]Walker E, Bez N. A pioneer validation of a state-space model of vessel trajectories (VMS) with observers' data[J]. Ecological Modelling,2010,221(17):2008-2017.
- [49]Mills C M, Townsend S E, Jennings S, et al. Estimating high resolution trawl fishing effort from satellite-based vessel monitoring system data[J]. Ices Journal of Marine Science,2007,64(2):248-255.
- [50]Gerritsen H D, Minto C, Lordan C. How much of the seabed is impacted by mobile fishing gear? Absolute estimates from Vessel Monitoring System (VMS) point data[J]. Ices J Marine Science,2013,70(3): 523-531
- [51]Schmidt C C. Economic Drivers of Illegal, Unreported and Unregulated (IUU) Fishing[J]. International Journal of Marine & Coastal Law,2005,20(3/4):479-507(29).
- [52]Aanes S, Nedreaas K, Ulvatn S. Estimation of total retained catch based on frequency of fishing trips, inspections at sea, transshipment, and VMS data[J]. Ices Journal of Marine Science,2011,68(8):1598-1605.
- [53]Vermard Y, Rivot E, Mah évas S, et al. Identifying fishing trip behaviour and estimating fishing effort from VMS data using Bayesian Hidden Markov Models[J]. Ecological Modelling,2010,221(15):1757-1769.
- [54]Yang W, Wang Y, Ji Z. 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[J]. J Ocean University of China,2015,14(1):89-96.
- [55]Haykin S, Lippmann R. Neural Networks, A Comprehensive Foundation[J]. International J Neural Systems,1994,5(4):363-364.
- [56]Scardi M. Advances in neural network modeling of phytoplankton primary production[J]. Ecological Modelling,2001,146(1/3):33-45.
- [57]郑巧玲,樊伟,张胜茂,等.基于神经网络和 VMS 的渔船捕捞类型辨别[J].南方水产科学, 2016,12(2): 81-87
- [58]王立威. 人工神经网络隐层神经元数的确定[D]. 重庆大学, 2012.
- [59]中华人民共和国农业部渔业局.中国渔业统计年鉴(2012).中国农业出版社, 125-

126.

- [60]卓立. 渔业船舶海上搜救现状的分析与对策[J]. 中国海事, 2006, (12), 54-58.
- [61]杨阜受 译, Carlos Perez-Labajos 著. 捕捞渔业的安全政策与研究[J].中国渔业经济, 2013.31(2):30-35.
- [62]蒲福氏风级, 2015.香港天文台.  
[http://gb.weather.gov.hk/education/edu01met/wxobs/ele\\_beaufort2\\_c.htm](http://gb.weather.gov.hk/education/edu01met/wxobs/ele_beaufort2_c.htm).
- [63]任林军. 我国风暴潮灾害造成的渔民收入损失评估研究[D]. 中国海洋大学, 2009.
- [64]孙建宏. 黄渤海区渔业安全管理规范化建设研究[D]. 中国农业科学院, 2009.
- [65]徐芳. 我国渔业安全生产管理长效机制建设问题研究[D]. 华东师范大学, 2007.
- [66]邹伟红, 唐议, 刘金红. 我国海洋渔业安全生产状况分析[J]. 上海海洋大学学报, 2007,16(6):608-612.
- [67]虞丰权. 论当前渔业安全事故起因及对策[J]. 中国水产, 2005, (1): 27-28.

## 致谢

转眼，三年研究生生涯即将接近尾声，回首读研期间的点点滴滴，心中感慨万千。从懵懵懂懂的新生到逐渐成长的现在，一路上要感谢的人太多，是大家的关怀、支持和鼓励才让读研的日子变得充实而温暖。感谢上海海洋大学和中国水产科学研究院东海水产研究所为我提供了良好的科研平台。感谢东海水产研究所遥感室的老师和同学们，老师们的谆谆教诲和关怀、同学们的支持和鼓励都是温暖的源泉，是前进路上的力量。此外，还要感谢北斗星通导航技术股份有限公司、上海普适导航科技股份有限公司、宁波市象山渔业局等单位为本研究提供数据和相关指导。

感谢我的导师樊伟研究员，樊老师的耐心指导和悉心关怀是我能够认真做科研的保障，同时老师踏实、认真做科研的精神也是我们学习的榜样。感谢一直辅导我的张胜茂老师，是张老师的指引、督促使我不断的接触和学习数据库及编程内容，对我后期找工作提供了非常大的帮助。感谢周为峰老师、张衡老师，两位老师经常的鼓励让我对科研工作增添了许多信心。感谢非常和蔼可亲的伍玉梅老师和王晓璇老师，两位老师在生活上给的关怀和帮助让我们时刻体会着温暖和宠爱，同时还要感谢行政处的李超老师、遥感室的其它老师和师兄师姐们给予的各种帮助和关怀。感谢同门纪世建、张天凤在学习、生活上给予的帮助，师弟郭刚刚、阮超，师妹徐红云、党晓岩带来的欢声笑语，师姐闫敏、宋婷婷在找工作时的指引，你们都是春风，滋润心间。感谢亲人和朋友，是大家的陪伴让求学的日子不孤单。

最后，再次向给予帮助、支持和陪伴我的人表示真诚的感谢，也祝愿大家在以后的日子里始终保持健康和快乐！

郑巧玲

2016年5月

## 攻读硕士学位期间发表的学术论文

### 发表论文:

- [1] 郑巧玲, 张胜茂, 樊伟. 海洋渔业专题图的研究应用现状[J]. 大连海洋大学学报, 2015(3):340-344.
- [2] 郑巧玲, 樊伟, 张胜茂, 等. 基于神经网络和 VMS 的渔船捕捞类型辨别[J]. 南方水产科学, 2016, 12(2): 81-87
- [3] 郑巧玲, 樊伟, 张胜茂, 等. 我国近海渔场的台风状况及其对渔业生产的影响分析 [J]. 海洋通报. 2016.4.
- [4] Shengmao Zhang , Bailang Yu , Qiaoling Zheng , al.et. Algorithm of Trawler Fishing Effort Extraction Based on BeiDou Vessel Monitoring System Data. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016 F. Bian and Y. Xie (Eds.): GRMSE 2015, CCIS 569, pp. 159–168, 2016. DOI: 10.1007/978-3-662-49155-3\_15.
- [5] 张胜茂, 崔雪森, 伍玉梅, 郑巧玲, 等. 基于北斗卫星船位数据分析象山拖网捕捞时空特征[J]. 农业工程学报, 2015(7):151-156.

### 发明专利: 专利号: 2014106491473

专利名称: 一种北斗船位数据提取拖网捕捞强度时空特征的方法

申请人: 郑巧玲, 张胜茂, 崔雪森, 伍玉梅、王晓璇、樊伟

状态: 已进入实审。

### 论文报告会:

- [1] 2014 年中国水产学会论文报告会, 做口头报告;
- [2] 2015 年上海海洋大学研究生论文报告会;
- [3] 2016 年上海海洋大学研究生论文报告会, 做口头报告并获优胜奖;

### 参与项目:

- [1] 上海市科学技术委员会长三角科技联合攻关领域项目( 15595811000)
- [2] 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目( 东海水产研究所 2014T13)