

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2019.04.010

国际海上救援效率比较研究 ——以东海特定水域为例

林婉妮, 王诺

(大连海事大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘 要: 为研究东海海域海上救援效率和国际协作的协调性, 以国际救援为视角, 基于 ArcGIS 构建了海事救援效率评价模型。根据巡逻船舶密度数据确定了救援船舶的概率分布, 得出了救援船舶与遇险船舶的可能距离, 同时考虑了风浪影响下遇险船舶的漂移以及巡逻船舶失速的情况, 分别计算了常风向和次常风向中国、日本和韩国在东海特定水域的海上救援效率。结果表明: 以各国现有的巡逻船舶配备对研究区内漂移的遇险船舶展开救援时, 常风向先后抵达的顺序为韩国、日本和中国, 驰援时间分别为 5.14、8.18 和 9.67 h; 次常风向抵达的顺序为韩国、日本和中国, 驰援时间分别为 5.45、8.25 和 10.08 h; 为提高我国的救援效率, 需要在东海海域部署 9~10 艘巡逻船舶开展常态化巡逻。本文研究可为我国有关部门科学制定和完善海上救援方案, 调整海上救援力量配备, 进一步加强国际间的协调与合作提供参考。

关键词: 东海; GIS; 遇险; 救援效率; 海事安全

中图分类号: U676.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2019)04-0438-09

A comparison study on the rescue efficiency in the international waters: a case of the specific waters in the East China Sea

LIN Wan-ni, WANG Nuo

(Transportation Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: To study the efficiency of marine rescue and coordination of cooperation among countries surrounding the East China Sea, geographic information system (GIS) technology was applied to establish the maritime rescue efficiency evaluation model. The probability distribution of the rescue vessel was determined by using the merchant vessels distribution data, then the possible distance between the rescue vessel and the vessel in distress was obtained. Taking the impact of wind and waves on the vessel in distress and the patrol vessels into consideration, the rescue efficiency of China, Japan and South Korea of the specific waters in the East China Sea were calculated under the prevailing wind conditions. The results indicated that for accident in the specific waters of the East China Sea, under the dominant direction of wind, the descending order of patrol vessels arriving is South Korea, Japan and China, and the rescue time are 5.14, 8.18 and 9.67 h, respectively. Under the secondary direction of wind, the order of patrol vessels arriving is South Korea, Japan and China, and the rescue time are 5.45, 8.25 and 10.08 h, respectively. Further analysis shows that China need to deploy 9~10 patrol vessels in the East China Sea for normal patrol in order to improve China's rescue efficiency. The results of this study can provide a reference for the formulation and improvement of maritime SAR plans and the adjustment of maritime rescue forces and can further strengthen international cooperation.

Keywords: East China Sea; GIS; vessel in distress; rescue efficiency; marine safety

收稿日期: 2018-07-10; 修订日期: 2018-12-13

基金项目: 国家海洋软科学项目 (JJYX201612-1)。

作者简介: 林婉妮 (1991-), 博士研究生, 主要从事海洋规划与管理研究。电子邮箱: lwn@dlmu.edu.cn。

通讯作者: 王诺, 博士, 教授, 博士生导师。电子邮箱: wangnuo@dlmu.edu.cn。

所谓海上国际救援,是指船舶在海上遇险后,有关国家的海上救助力量在收到海上遇险信息后所采取的相应搜寻和救援行动。由于海上险情具有突发性和不确定性,所以海上搜救行动通常具有艰巨性和复杂性特点,特别是发生重大海上事故时,仅靠单一国家力量有限,需要多个邻近国家进行紧密协调与合作,最大限度地利用黄金救援时间开展搜救。海上搜救既是一种公共服务,也是履行国际公约义务、实行人道主义的具体体现。对于海上遇险船舶及其人员,国际公约法要求超越国界和意识形态及时进行有效救助。对邻海各国的海上搜救能力进行分析和评估,对于提高海上船舶的搜救效率,建立周边国家协调合作的搜救机制,具有重要的现实意义。

当前用于评价海上救援效率的指标有很多,包括救援的组织管理、搜救通信、救助成功率以及驰援时间等(汪爱娇, 2011; 许志远, 2007)。相较而言,驰援时间是影响救援效率的关键因素,通常作为定量的衡量标准,尤其适用于描述大规模数据的定量处理结果(Shi et al, 2014),也是可达性计算中的重要内容(Siljander et al, 2015)。目前,采用驰援时间指标描述救援效率已有许多研究,如Siljander等(2015)基于GIS提出了一种评估海上救援响应时间的计算方法,将该方法应用于芬兰湾海上事故的分析,得到了满意的效果;Shi等(2014)建立了评估南海周边国家搜救能力的时间可达性模型,用以评估南海海域周边各国的救援能力(Shi et al, 2014);王雷等(2017)考虑到达时间等因素建立了警务应急物流调度的多目标非线性规划模型,对多点同时发生恐怖袭击情况进行了数值实验等。

海上生命救助的时效性极强,救援的黄金时机稍纵即逝,国际和国内海事机构通常将驰援搜救现场的时间作为评价海上搜救力量水平和效率的主要参考依据。2014年7月我国交通运输部出台的《关于加强救助打捞工作的意见》要求专业救助力量在离岸100海里以内应急救助的到达时间不应超过90 min,救助有效率应大于93%(史春林, 2017)。国际海事组织(IMO)的统计显示:一个成年人从海上落水到体力耗尽死亡的临界时间平均仅约2 h。如果海上搜救船舶或飞机能够在2 h以内到达事故发生地及时救助,便能显著提高人命救

助的成功率。因此,国际上一般将2 h到达搜救现场作为专业海上搜救力量覆盖范围的主要参考依据。鉴于此,本文将救援时间作为衡量搜救能力的重要指标。

有关突发事件发生后的救援效率问题,已有较多研究成果,如重大灾害后航空应急救援的整体效能分析(夏正洪等, 2013; 2014)、滨海城市旅游安全预警与事故应急救援系统的可视化及智能化(任学慧等, 2006),在应急救援最短时限前提下,以应急救援效率最大化、物资消耗最小化为目标,构建最短时限应急救援多目标指派模型(张雷等, 2012; 何建敏等, 2001; 刘春林等, 2000; 戴更新等, 2000),以及台风灾后应急救灾网络的规划与设计(张玲等, 2014)等等。

关于海上救援方面也有一些成果(Breivik et al, 2013),主要集中在对海上遇险漂移目标跟踪关键技术的探讨上,包括应用新型智能信息处理技术,研发出具有自适应性能的漂移目标轨迹融合预测模型与跟踪方法(王洵等, 2010);根据遇险位置的报告及风流信息,采用计算机程序开展总水流矢量、风压差计算,进而确定目标漂移后搜寻区域的具体方法(于卫红等, 2006);基于风和表面流场的物理规律建立预测船舶漂移的搜救模型(Azofra et al, 2007; Ni et al, 2010; Breivik et al, 2008);在失去动力情况下渔船的漂移规律(李金铎等, 2011; 王军等, 2014);基于地理位置特点、险情种类、危急程度、气象海况等因素计算海上遇险黄金救援时间(黄敏东, 2014);以及基于最小累积成本距离和加权图的综合可达性指数构建出评价模型,用以评估各国的救援能力(石伟等, 2014; Shi et al, 2014)等等。

近年来,地理信息系统(GIS)在灾害救援中的应用研究较多,包括震后灾情评估和医疗物资需求预测(方智阳等, 2011)、海上溢油的运动轨迹和扩散面积预测(焦俊超等, 2011a; 2011b)。有的研究探讨了搜救过程中GIS在协助划定搜寻空间范围和分配应急资源方面的应用,可使搜寻范围空间更小,时间上更为精确,有助于分配救援资源和提高搜救效率(刘钊等, 2014)。利用这一技术,还实现了跟踪漂移浮标运动,建立回归模型模拟浮标漂移轨迹(苏京志等, 2005),完成对船只作业过程的无缝实时监控和信息化管理,提高应对和处

置海上突发事故的能力(魏延亮等, 2013)。

上述研究显示, 当前在海上救援效率定量评估领域已有较多研究, 为本文提供了基础, 但仍有部分问题有待解决。如在研究内容上, 以往的研究针对大范围海上救援效率的评价较为鲜见, 较少考虑风浪因素对船舶航速的影响。在研究方法上, 使用 GIS 统计和计算功能研究海上救援效率较少。针对上述问题, 本文将风浪对船舶航速的影响因素融入海事救援效率评价模型, 基于 GIS 定量分析风浪影响下的海事救援时间, 揭示了不同国家在同一海域的海上救援能力。

1 研究区概况

东海是指中国东部的长江口外侧海域, 南接台湾海峡, 北临黄海, 东临太平洋, 以长江口北侧、韩国济州岛连线及琉球群岛为界, 介于 $23^{\circ}00'N-33^{\circ}10'N$, $117^{\circ}11'E-131^{\circ}00'E$ 之间, 面积 70 余万平方公里。这一海域不仅有密集的国际海运航线, 也是著名的渔业区, 海上经济活动活跃, 部分海区在海洋权益上国际关系复杂。在东海中部区域, 中、日、韩之间的双边渔业协定划有“维持现有活动水域”, 各国渔船都可以在此进行捕捞作业(董加伟, 2014; 中国渔政指挥中心, 2010)。协定规定, 任一方的国民及渔船遭遇海难或其他紧急事态时, 各方都应尽力予以救助和保护。

由于台风等自然灾害影响, 在东海航行和作业的船只, 特别是渔业船舶经常发生事故, 联合国国际海事组织(IMO)全球综合航运信息系统(GISIS)中海难事故的统计数据显示, 2008–2017 年东海海域共发生各种船舶的海难事故 56 起, 死亡、失踪人数 150 人。其中, 渔船海难事故共 16 起, 分别为我国 13 起, 日本、韩国和朝鲜各 1 起。当我国渔船在东海远海水域遇险时, 除了我国救助力量开展搜救外, 韩国或日本海岸警卫队也提供了人道主义援助, 如 2016 年 8 月 11 日一艘我国渔船与希腊籍大型货船在东海海域相撞后沉没, 渔船上 6 名船员被随后赶到的日本海上保安厅救起; 2015 年 1 月 23 日一艘我国渔船在韩国济州市西南方向 164 km 处被其他船舶撞沉, 韩国海警迅速展开搜救, 救获 3 人。以上案例表明加强国际海上救援的效率和协调性具有重要的意义。

本文选取东海中部中、日、韩“维持现有活动水域”为研究区域, 以失去动力、处于漂移状态的遇险渔船为救援对象, 假设其位于研究区的中间位置, 其坐标为 $126^{\circ}26'E$, $31^{\circ}23'N$ 。将我国的上海港、日本的鹿儿岛港以及韩国的济州岛港作为救援基地。按照驰援距离, 选择 80 米级及以上的船型作为东海远海海域的巡逻主力船型。

2 研究数据与方法

本文以国际救援视角, 根据海上事故及其救援特点, 基于 ArcGIS 软件构建了海事救援效率评价模型。确定救援船舶的概率分布, 得出救援船舶与遇险船舶的可能距离, 同时考虑风浪影响下遇险船舶的漂移以及巡逻船舶失速的影响, 进而分析中国、日本和韩国在东海特定水域的海上救援效率, 具体步骤如下: Step 1 获取统计数据, 构建巡逻船舶分布模型。Step 2 计算各国巡逻船舶距遇险船舶的距离。Step 3 计算在风浪影响下各国巡逻船舶驰援遇险船舶的时间。

为简化计算, 需做如下合理假设: ①海上风流场以事故发生的初始时刻为准, 救援过程中不再发生变化; ②遇险船舶的漂移为匀速直线运动; ③巡逻船舶与遇险船舶相遇即完成救援; ④各国的巡逻船舶均以本国港口为基地。文中的船舶分布分析基于美国国家海洋和大气管理局提供的 2013 年往来于东海之间($117^{\circ}11'E-131^{\circ}00'E$, $23^{\circ}00'N-33^{\circ}10'N$)的自愿观测船(VOS)统计数据(NOAA, 2015)。自愿观测船是指按计划 and 统一要求进行海洋观测作业非专业船舶, 旨在广泛收集现场资料, 包括船舶位置和轨迹的数据, 在很大程度上反映附近所有船舶的分布。由于该数据公开, 获取方便且具有代表性, 因此本文采用该数据分析救援船舶的概率分布。相关风浪数据采用我国国家海洋环境预报中心发布的信息, 地理信息矢量图源于国家测绘地理信息局网站。

2.1 巡逻船舶分布

为计算巡逻船舶驰援遇险船舶位置的时间, 首先要判断两者间的距离。在常规状态下, 巡逻船舶或停泊于基地, 或巡逻于海上。虽然巡逻船舶的运动状态具有偶然性, 但统计所有巡逻船舶的分布则具有一定的规律。一般来说, 海上巡逻船舶巡逻任

务的分配通常根据以下两个原则：①海上航行船只越多的海域，监管任务越重要，因而派出的巡逻船舶就越多；②靠近本国港口越近，海上监管的要求就越高，因而巡逻船舶就越多。据此，通过计算海上过往船舶的密度和与基地的距离，便可得到各国巡逻船舶的概率分布。

(1) 海上过往船舶密度。海上过往船舶密度可通过海域中船舶的分布数据得到，其表达式为：

$$D_z = f(z), z(x, y) \in Z \quad (1)$$

式中， D_z 表示海域内点的船舶密度； Z 表示海域范围； $z(x, y)$ 表示海域内任意点。

(2) 巡逻船舶的海上位置。设某一国家的巡逻船舶来自不同基地，则海上巡逻船舶至基地的距离为：

$$L_z = \min(l_z^i), i=1, 2, \dots, M, z(x, y) \in Z \quad (2)$$

式中， L_z 表示某国巡逻船舶在海域 z 点到本国各基地距离的最小值， l_z^i 表示巡逻船舶在海域点到某一基地 i 的距离， M 是该国基地的总数。

(3) 海上巡逻船舶分布概率。由前文规定：海上过往船舶的密度越大，巡逻船舶出现的概率就越大；距离基地母港越远，巡逻船舶出现的概率就越小，巡逻船舶出现在海域内任意点的概率与该点的船舶密度成正比，与该点至本国基地的距离成反比，计算公式为：

$$P_z = \frac{D_z}{L_z}, z(x, y) \in Z \quad (3)$$

式中， P_z 表示巡逻船舶出现在海域点 z 的概率，其他符号意义同上。

2.2 驰援距离

(1) 巡逻船舶与遇险船舶加权平均距离。正常情况下，在海上的巡逻船舶与遇险船舶的距离可根据巡逻船舶所有可能出现的海上位置至遇险船舶距离的加权平均值确定，具体公式为：

$$\bar{S} = \frac{\sum_{z \in Z} P_z \cdot S_z}{\sum_{z \in Z} P_z}, z(x, y) \in Z \quad (4)$$

式中， $\bar{S}$ 表示巡逻船舶至遇险船舶的加权平均距离，单位为 n mile； S_z 表示巡逻船舶在海域 z 点处至遇险船舶的距离，单位为 n mile。

(2) 救援船舶与遇险船舶的距离。将巡逻船舶简化成为一个以一定速度运行的点，每艘巡逻船舶能够观测到海上目标的距离为（赵福波等，

2016）：

$$d = c \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) \quad (5)$$

式中， c 为常数，由经验取 2.09； H_1 为巡逻船舶观察点高度，单位为 m； H_2 为海上目标高度，单位为 m。

参考船舶有关参数，设巡逻船舶观察点高度 $H_1 = 6.2$ m；海上目标高度 $H_2 = 0$ 。根据式（5），得到 $d = 5.2$ n mile。

在理想环境下，当多艘巡逻船同时巡逻时，在各船监视圆面积中扣除因相邻船舶同时巡逻产生的重叠部分后的监管面积称之为巡逻船的有义监管面积或有义监视能力。当各巡逻船监管面积不发生重叠时，一艘巡逻船的有义监视能力就是其能够监视的水面圆面积，即单船监管面积。但是这种情况只适用于假设船舶静止分布在管辖水域范围内、监视面积与水域面积相等时的配船数理论值。事实上，在确定监管水域总面积为 S 、单船监视能力为 s_j 情况下需要配置的船舶数量时，还应考虑到船舶排列方式、水域边界形状等影响因素。此时必然在 S 水域内存在监视面积重叠部分，也会存在监视盲区（图 1）。因此，当要求监管面积全覆盖（ $\beta=100\%$ ）时，单船的有义监视能力只能计及船舶监视圆面积 s_j 中的圆内接正四边形面积（赵福波等，2016）。因此基于上述分析，本文假设单艘巡逻船舶观测距离为 d ，要求监管水域实现 100% 的覆盖率，则有效监视面积为监视范围中的内接四边形，其边长为 $\sqrt{2}d$ ，面积为 $2d^2$ （图 2）。

由于多艘巡逻船舶在海上相互协调，巡逻船舶在遇险船舶附近出现的概率将随着巡逻船舶数量的增加而增加，因而在海上巡逻的船舶越多，巡逻船舶距遇险船舶的距离就可能越近。因此，本文假设当在海上并排排布保持相等间距的巡逻船舶接到求救信息后，其中距离遇险船舶最近的巡逻船舶将开始救援行动，由巡逻状态转入救援状态向遇险船舶方向驶去。实际中，巡逻船舶在海上通常采取平行线搜寻的方式巡逻，即巡逻船舶的搜寻航线保持相互平行并相隔固定间距（中国海上搜救中心，2011）。

假设当接到求救信息后， n 艘巡逻船舶中距离遇险船舶最近的巡逻船舶开始救援行动（以下称该船为救援船舶），此时救援船舶距遇险船舶的距离为：

$$\hat{S} = \bar{S} - \sqrt{2} (n-1) \cdot d, n < \frac{\bar{S}}{\sqrt{2} d} + 1 \quad (6)$$

式中, $\hat{S}$ 为救援船舶与遇险船舶初始位置间的距离, 单位为 n mile; n 表示险情发生时在海上巡航的某国巡逻船舶数量; d 为各巡逻船舶的观测距离, 单位为 n mile。

上述约束条件表明, 当在东海配置的船舶数量足够多以至于跟巡逻船舶至遇险船舶的加权平均距离 $\bar{S}$ 大小相当时, $\hat{S}$ 才有可能出现负值。以我国为例说明, 我国巡逻船舶至研究区的加权平均距离 $\bar{S}$ 为 220 n mile, 那么根据式 (6) 可知, 当我国在东海海域配 32 艘救援船舶时 $\hat{S}$ 出现负值。按照我国巡逻船舶的配置标准, 只有 80 米级以上的巡逻船才能承担离岸 50 海里以远, 200 海里以内水域的指定和应急任务 (杨立波, 2013)。而目前我国能够承担远海巡逻任务的 80 米级以上大型巡逻船不足 10 艘 (王诺等, 2018; 乔春福, 2018)。因此在实际中, 不可能出现 $\hat{S}$ 为负值这种情况。

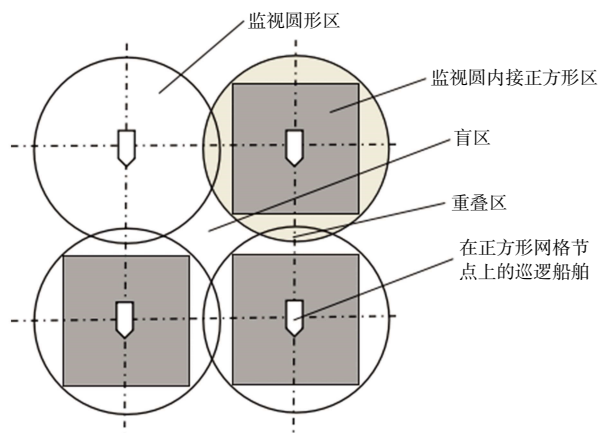


图1 监管面积发生重叠

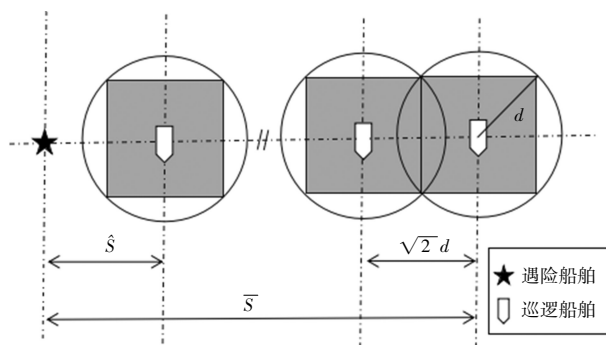


图2 救援船舶与遇险船舶的距离示意图

2.3 风浪影响分析

由于海上气候环境通常较为恶劣, 在风场作用下, 遇险船舶在等待救援时一般会发生漂移, 救援船舶的航速也会受风浪的影响。因此, 驰援行动是一个动态的复杂过程, 需要根据遇险船舶漂移计算驰援时间。救援船舶与遇险船舶之间的相对位置、各自运动速度与方向等参数如图 3 所示。图 3 中, A 为遇险船舶的初始位置; B 为救援船舶开始救援时的初始位置; A' 为遇险船舶与救援船舶相遇的位置; v 为救援船舶的航速; t 为救援船舶驰援遇险船舶所需的时间; v_0 为遇险船舶的漂移速度; $\hat{S}$ 为救援船舶与遇险船舶初始位置间的距离; θ 为救援船舶与遇险船舶初始位置连线和遇险船舶漂移方向的夹角。

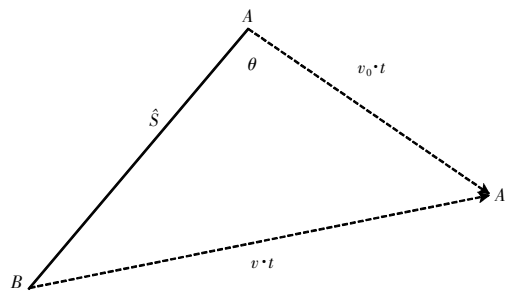


图3 遇险船舶与救援船舶位置关系图

由图 3 各边的关系, 可以得到救援船舶与遇险船舶相对位置为:

$$(v \cdot t)^2 = (v_0 \cdot t)^2 + (\hat{S})^2 - 2v_0 \cdot t \cdot \cos \theta \quad (7)$$

式中符号意义同上, 且 $v \geq v_0 \cdot \sin \theta$, $t > 0$ 。

由公式 (7), 可得到救援船舶驰援遇险船舶所需的时间为:

$$t = \frac{\hat{S} \cdot \sqrt{v^2 - v_0^2 \cdot \sin^2 \theta} - \hat{S} \cdot v_0 \cdot \cos \theta}{v^2 - v_0^2} \quad (8)$$

式 (8) 中, $\hat{S}$ 和 θ 一般相对确定, 但遇险船舶的漂移速度 v_0 和救援船舶航速 v 会受海上风浪的影响而发生变化: 对于失去动力的遇险船舶, 其漂移方向和速度与当时所在地的风浪有关 (胡志武等, 2007); 对于救援船舶, 驰援时速度也将发生变化, 其计算表达式为 (张永胜等, 2005):

$$v = v' (0.745h - 0.257qh) (1.0 - 1.35 \times 10^{-6} Dv') \quad (9)$$

式中, v' 为船舶在静水中的航行速度, 单位为 kn; h 为浪高, 单位为 m; q 为船艏和浪向之间的夹角, 单位为 ($^\circ$); D 为船舶排水量, 单位为 t。

3 分析计算

本文应用 ArcGIS 10.4 软件分析东海海域往来船舶的密度以及巡逻船舶海上的分布状况, 利用式 (4), 计算出研究区内各国巡逻船舶至遇险船舶的加权平均距离 $\bar{S}$, 再由式 (6) 求出救援船舶至遇险船舶的距离 $\hat{S}$ 。在此基础上, 由式 (8) 计算出各国救援船舶在风浪影响下驰援遇险船舶的时间。

3.1 数据处理

首先, 建立地理数据库, 对相关图像矢量和船舶分布等数据进行整理, 以统一的空间参考坐标系存储于数据库中。为便于后续计算, 将基础数据进行初步编辑, 包括矢量编辑调整与变换、选择投影坐标系等。根据研究区域的区位特点, 对所有数据均采用相同的投影坐标系投影计算, 再对船舶数据进行栅格化处理。

3.2 计算过程

(1) 巡逻船舶分布。基于以上创建的数据库, 利用 ArcGIS 的点密度分析功能对东海海域的船舶分布进行计算 (图 4)。在地理分布上, 我国负责东海的救援基地位于上海 (上海市市政府, 2017); 日本由海上保安厅第 10 管区负责本文研究区的海上救援, 巡逻船舶基地位于鹿儿岛港 (日本海岸警卫队, 2015); 韩国的救援基地位于济州岛 (韩国国民安全处, 2015)。由此, 利用海域过往货船、渔船的密度数据和各国巡逻船舶的数量及分布范围进行分析, 可得到中、日、韩各国巡逻船舶在海域

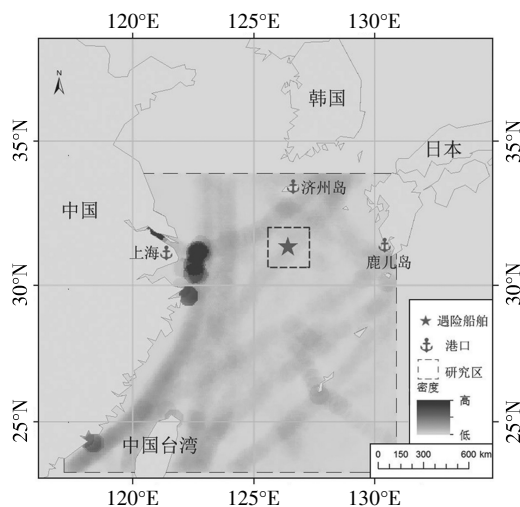


图4 东海过往船舶密度图

中的概率分布, 结果如图 5 所示。

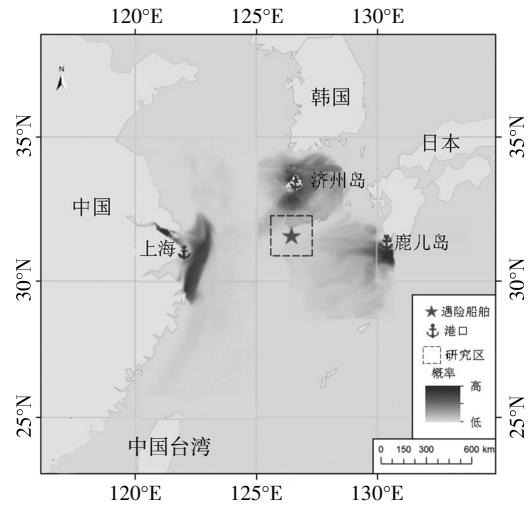


图5 各国巡逻船舶概率分布图

(2) 驰援距离。根据巡逻船舶的续航能力, 离岸 50 n mile 以远水域巡航和应急任务一般由 80、100 m 级巡逻船舶承担。假定上述级别的巡逻船舶在上海港有 5 艘, 日本鹿儿岛港有 4 艘, 韩国济州岛港有 2 艘。由各国巡逻船舶在东海的概率分布数据和式 (4) ~ (9), 利用距离分析以及栅格计算器等工具, 可以得出中、日、韩各国救援船舶的驰援距离分别为 220、171 和 113 n mile。

(3) 风浪影响下的驰援时间。我国国家海洋环境预报中心将近海海域划分为 20 个海区 (图 6), 并对各海区的风浪等气象条件提供 24 h 预报, 为本文的研究提供了可靠的海洋环境相关资料。从图中可以看出, 本文研究区、日本鹿儿岛港以及韩国济州岛港均位于第 19 海区, 我国上海港位于第 5 海区。因此本文选取东海海域 (第 5、19 海区) 的近海海洋环境情况作为研究中、日、韩各国的救援效率的基础数据。假设海上遇险事故发生在研究区的中间位置, 坐标为 126°26'E, 31°23'N。根据中国天气网历年的统计资料, 可得到东海海域的风向统计。东海海域的常风向为东南向, 发生概率为 26%; 次常风向为东北向, 发生概率为 13%。从国家海洋环境预报中心网站上可以获取到东海海域近海海洋环境情况, 本文选取东海典型的风向情况, 即东海海域 (第 5、19 海区) 恰好在常风向 (东南) 和次常风向 (东北) 影响下, 基于此对遇险船舶与各国救援船舶的速度进行分析 (表 1)。

为分析模拟东海海域渔船在失去动力情况下的

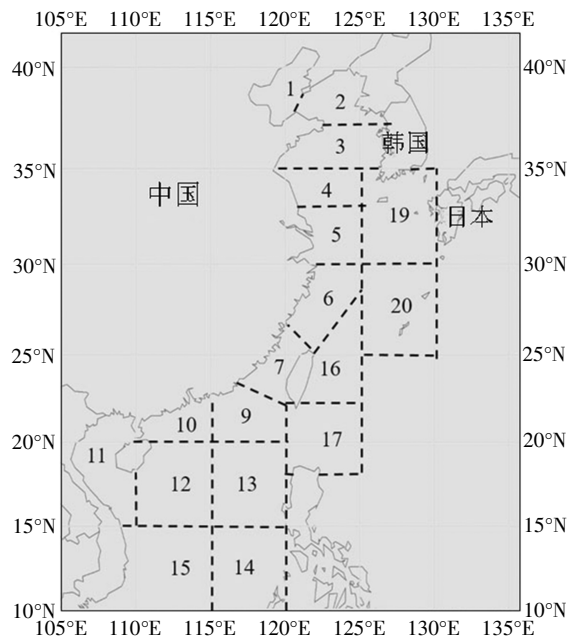


图 6 海洋预报海区划分图

表 1 东海海域近海海洋环境情况

研究时间	海区	风向	风级	风速/kn	浪高/m	平均浪向
2016 年 3 月 12~13 日	5	东南	四	10.7~15.4	1.5~1.0	东南
	19	东南	五	15.6~20.8	1.5~2.5	南东南
2016 年 3 月 4~5 日	5	东北	四	10.7~15.4	1.5~1.0	北东北
	19	东北	四	10.7~15.4	1.5~1.0	北东

数据来源: 国家海洋环境预报中心 (<http://www.nmefc.cn/nr/jhhyhjyb.aspx?id=1>)

漂移状况,使用东海地区典型渔船进行漂移试验,观测渔船自由漂移的实测轨迹(李金铎等,2011)。

试验结果表明:渔船的漂移方向受风向主导,漂移速度与海水表层的流速相当,相对于风速小一个量级,风导系数取 0.1。参考这一试验结果,本文取常风向和次常风向下平均风速的 0.1 倍,即 $v_0 = 1.8 \text{ kn}$ 和 1.3 kn 作为遇险船舶的漂移速度。

实际中,在不同风浪情况下救援船舶驰援的速度也将发生变化。根据我国《海事船舶配备管理规定(试行)》,本文研究选取的海域执行任务的巡逻船舶大小均是 80 m 级以上的大型巡逻船舶,在静水中的航行速度都是 22 kn。在常风向和次常风向影响下,根据中、日、韩各国救援船舶船艏和波浪方向的夹角以及救援船舶与遇险船舶初始位置连线和遇险船舶漂移方向的夹角,结合式(9),求出各国的救援船舶在不同风浪情况下的实际驰援速度。最后由式(8)得出各国救援船舶驰援遇险船舶的时间。

(4) 结果分析。表 2 的结果显示,在常风向下,各国救援船舶到达遇险船舶位置的先后顺序为韩国、日本和中国,时间分别为 5.14、8.18 和 9.67 h;在次常风向下,先后顺序未变,时间分别为 5.45、8.25 和 10.08 h。实际的情况是,2010 年 12 月 18 日 12 点 30 分,我国一艘拖网渔船在韩国群山市岛屿外 120 km 的公海海域与韩国海岸警卫队船只相撞,发生倾覆。我国海上搜救中心接到报警后,派出救助船舶经过 9 个多小时赶到事发现场开展救援,所用时间与本文研究结果接近(环球时报,2010)。

此外,从表 2 可看出,我国巡逻船舶至研究区

表 2 各国海上救援效率计算结果

风向国家	东南向			东北向		
	中国	日本	韩国	中国	日本	韩国
救援船舶船艏和浪向夹角 $q/(^\circ)$	42	83	35	70	170	166
救援船舶航速 v/kn	21.5	21.5	21.0	21.6	22.0	22.0
巡逻船舶数量 $n/\text{艘}$	5	4	2	5	4	2
事故发生时救援船舶与遇险船舶距离 $\hat{S}/\text{n mile}$	220	171	113	220	171	113
救援船舶与遇险船舶初始位置连线和遇险船舶漂移方向夹角 $\theta/(^\circ)$	42	105	57	48	165	147
救援时间 t/h	9.67	8.18	5.14	10.08	8.25	5.45

的距离达 220 n mile,分别是日本、韩国的 1.29、1.95 倍,距离更远。将表 2 中的数据代入式(6)和式(8),可以得到在两种典型主导风向情况下各国巡逻船舶数量与驰援遇险船舶时间的关系(图 7)。在常风向下,当我国在东海海域配置的巡逻船

舶达到 9 艘时,驰援时间可减少至 8.38 h,与日本 4 艘巡逻船舶的救援效率相当;在次常风向下,我国配置 10 艘巡逻船舶时与日本 4 艘巡逻船舶的救援效率相当。由于在地理上韩国与研究区距离较近,并且常风向更偏向韩国,因而在理论上我国仅

仅依靠增加巡逻船舶的数量超过韩国的救援效率有较大难度, 需要在航速等方面采取措施予以解决。

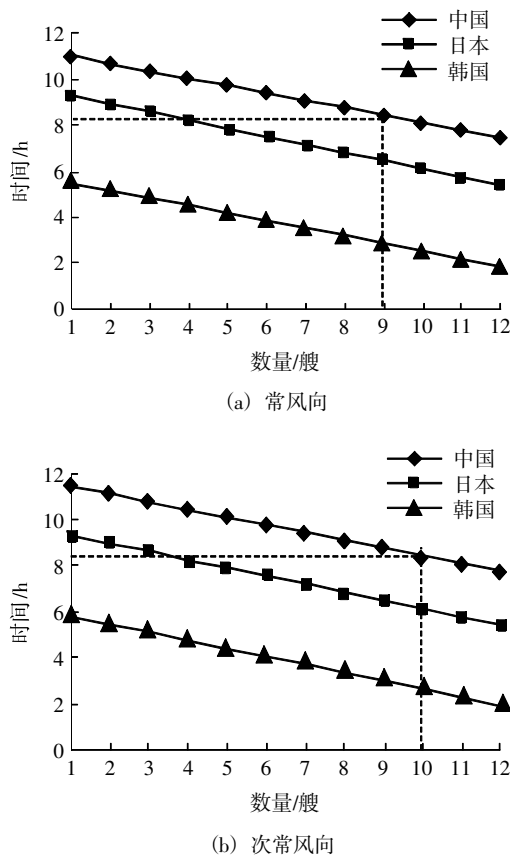


图 7 各国救援船舶驰援时间与数量关系图

4 结论与展望

本文以国际救援视角, 基于 ArcGIS 软件构建了海事救援效率评价模型, 采用美国国家气象局 (NOAA) 提供的商船分布数据确定救援船舶的概率分布, 得出救援船舶与遇险船舶的可能距离, 并同时考虑风浪影响下遇险船舶的漂移以及巡逻船舶失速的影响, 进而分析中国、日本和韩国在东海特定水域的海上救援效率。得出的主要结论如下:

(1) 以各国现有的巡逻船舶配备对研究区内漂移的遇险船舶展开救援时, 我国巡逻船舶至研究区的加权平均距离达 220 n mile, 分别是日本、韩国的 1.29、1.95 倍。在常风向下, 各国救援船舶到达遇险船舶位置的先后顺序为韩国、日本和中国, 时间分别为 5.14、8.18 和 9.67 h; 在次常风向下的先后顺序未变, 时间分别为 5.45、8.25 和 10.08 h。由于韩国和日本的救援基地距研究区比我国更近,

因此当海难事故发生时, 日韩两国的巡逻船舶在遇险船舶附近巡航的概率比我国更大, 可以说, 距离劣势是导致我国巡逻船舶救援效率相对较低的主要原因。

(2) 为改变这一状况, 可通过在东海海域增配大型远洋巡逻船舶的方式缩短驰援遇险船舶的距离, 从而提高我国的救援效率, 为我国在东海进行远洋作业的渔船保驾护航。经计算, 在常风向下, 当我国在东海海域配置的巡逻船舶达到 9 艘时, 驰援时间可减少至 8.38 h, 这时与日本配置 4 艘巡逻船舶的救援效率相当; 在次常风向下, 我国配置 10 艘巡逻船舶时可与日本 4 艘巡逻船舶的救援效率相当。

考虑到东海对我国的政治和经济意义日益突显, 海上过往船舶的密度不断加大, 对海上航行的安全要求也在提高, 因此有必要采取措施提高我国的海上救援效率, 加强海上搜救力量建设, 为过往船舶提供安全保障和人道主义救援, 进一步彰显我国的大国担当、在东海划界争议中掌握更大的话语权。例如, 在东海配备数量更多、吨位更大、航速更快、可载直升机的新型巡逻船舶, 选取远离海岸的岛礁设立救援补给基地等。同时, 我国应注重建立和完善联合搜救机制, 进一步提高东海海域国际协作的救援效率。

本文研究主要基于船舶航行的概率分布建立模型开展研究, 对于以历年事故数据、典型救援案例为基础建立相关分布, 协调多国多巡逻船舶的联合搜救行动以及建立同时针对多个遇险船舶开展救援的协作机制等问题, 是下一步要研究的内容。

参 考 文 献

- Azofra M, Pérez-Labajos C A, Blanco B, et al, 2007. Optimum placement of sea rescue resources. *Safety Science*, 45(9): 941–951.
- Breivik Ø, Allen A A, Maisondieu C, et al, 2013. Advances in search and rescue at sea. *Ocean Dynamics*, 63(1): 83–88.
- Breivik Ø, Allen A A, 2008. An operational search and rescue model for the Norwegian Sea and the North Sea. *Journal of Marine Systems*, 69 (1): 99–113.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2015. The World Meteorological Organization (WMO) Voluntary Observing Ships (VOS) Scheme of 2013. [2015–6–15]. http://www.vos.noaa.gov/vos_scheme.shtml.
- Ni Z, Qiu Z, Su T C, 2010. On predicting boat drift for search and rescue. *Ocean Engineering*, 37(13): 1169–1179.

- Shi W, Su F, Zhou C, 2014. A temporal accessibility model for assessing the ability of search and rescue in Nansha Islands, South China Sea. *Ocean & Coastal Management*, 95: 46–52.
- Siljander M, Venäläinen E, Goerlandt F, et al, 2015. GIS-based cost distance modelling to support strategic maritime search and rescue planning: A feasibility study. *Applied Geography*, 57: 54–70.
- 戴更新, 达庆利, 2000. 多资源组合应急调度问题的研究. *系统工程理论与实践*, 20(9): 52–55.
- 董加伟, 2014. 论中韩、中日渔业协定框架下的传统捕鱼权保障. *东北亚论坛*, (4): 35–47.
- 方智阳, 文进, 王俊峰, 等, 2011. 地震灾害医疗应急救援推演研究[J]. *计算机应用研究*, 28(1): 172–181.
- 韩国国民安全处, 2015. 韩国海上搜救责任区划分. <http://www.mpss.go.kr/122/>, 2015–1–25.
- 何建敏, 刘春林, 尤海燕, 2001. 应急系统多出救点的选择问题. *系统工程理论与实践*, 21(11): 89–93.
- 胡志武, 张秋荣, 顾维国, 2007. 遇难船舶漂流轨迹预测技术. *航海技术*(3): 18–21.
- 环球时报, 2010. 中韩撞船事故中 1 名失踪的中方船员成功获救. (2010–12–18) [2018–10–20]. <http://news.163.com/10/1218/21/607G3CL800014JB6.html>.
- 黄敏东, 2014. 论海上遇险黄金救援时间. *中国海事*, (12): 40–42.
- 焦俊超, 马安青, 娄安刚, 等, 2011a. GIS 和 Google Earth 开发在溢油预测中的整合应用. *遥感技术与应用*, 2: 215–219.
- 焦俊超, 马安青, 娄安刚, 等, 2011b. 基于 GIS 的渤海湾溢油预测系统研究. *海洋环境科学*, 30(5): 735–738.
- 李金铎, 龙绍桥, 郑锡建, 2011. 东海海域渔船无动力漂移试验研究. *渔业现代化*, 1: 60–63.
- 刘春林, 何建敏, 盛昭瀚, 2000. 多出救点应急系统最优方案的选取. *管理工程学报*, 14(1): 13–15.
- 刘钊, 罗智德, 张耀方, 等, 2014. 基于时空棱柱的人员搜寻范围优化. *地球信息科学学报*, 16(4): 531–536.
- 乔春福, 2018. 《海事船舶配备管理规定(试行)》实施效果评价研究. *中国水运(下半月)*, 18(9): 27–28.
- 任学慧, 王月, 2006. 滨海城市旅游安全预警与事故应急救援系统设计. *地理科学进展*, 24(4): 123–128.
- 日本海岸警卫队, 2015. 第十管区海上保安本部职能介绍. <http://www.kaiho.mlit.go.jp/10kanku/gaiyou/index.html>, 2015–1–25.
- 上海市政府, 2018. 上海海上搜救应急预案(2017 版). <http://www.shanghai.gov.cn/shanghai/node2314/node2319/n31973/n32019/n32022/n32024/u21ai858094.shtml>, 2018–3–22.
- 石伟, 苏奋振, 周成虎, 等, 2014. 南沙岛礁及周边港口可达性评价模型研究. *地理学报*, 69(10): 1510–1520.
- 史春林, 2017. 中国在南海岛礁建设搜救基地问题研究. *太平洋学报*, 25(6): 78–87.
- 苏京志, 王东晓, 陈举, 等, 2005. 利用回归模型模拟卫星跟踪海洋漂流浮标轨迹. *地球科学进展*, 20(6): 607–617.
- 汪爱娇, 2011. 基于偏好 DEA 的海上应急基地运行效率评价. *中国安全科学学报*, 21(5): 126.
- 王军, 王美蓉, 王怡洋, 等, 2014. 基于贪婪算法的水上漂移目标救助物资协同调度方法. *运筹与管理*, (4), 116–123.
- 王雷, 王欣, 赵秋红, 等, 2017. 多地点协同恐怖袭击下的多目标警务应急物流调度. *系统工程理论与实践*, 37(10): 2680–2689.
- 王诺, 林婉妮, 2018. 建设“21 世纪海上丝绸之路”视角下南海海上搜救体系构建研究. *到中国软科学*(8): 10–17.
- 王洵, 李旻, 管冰蕾, 等, 2010. 海上遇险漂流目标跟踪系统研究探讨. *中国航海*, (3): 18–21.
- 魏延亮, 张建辉, 2013. 基于 GIS 的海洋渔业应急救援系统建设研究. *测绘与空间地理信息*, 36(2): 56–58.
- 夏正洪, 潘卫军, 林瑞春, 等, 2012. 重大灾害条件下的航空应急救援效率研究. *计算机工程与设计*, 33(3): 1251–1256.
- 夏正洪, 潘卫军, 2013. 多救援直升机多目标分配与航迹规划研究. *科学技术与工程*, 13(24): 10 226–10 231.
- 许志远, 2007. 国家海上搜救能力评价及对策研究. 大连: 大连海事大学.
- 于卫红, 贾传炎, 2006. 海上搜救中搜寻区域确定方法研究. *中国航海*, (2): 34–37.
- 张雷, 马璐, 元昌安, 2012. 应急救援多目标时限指派模型. *中国安全科学学报*, 22(6): 170–170.
- 张玲, 王晶, 张敏, 2014. 基于不确定需求的灾后应急救援网络规划模型与算法. *运筹与管理*, 23(3): 49–55.
- 张永胜, 陆冬青, 蔡烽, 等, 2005. 几种失速计算方法的比较. *航海技术*, (1): 7–9.
- 赵福波, 谢新连, 李晓君, 2016. 确定海事巡逻船配置量方法. *哈尔滨工程大学学报*, (3): 349–354.

(本文编辑:崔尚公)