

南海-印度洋海域海洋安全灾害评估与风险区划

黎鑫^{1,2}, 洪梅¹, 王博¹, 张韧¹, 葛珊珊¹, 钱龙霞¹

1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 92962 部队气象室, 广东 广州 510320

摘要: 针对南海-印度洋海域丰富的海洋资源、重要的战略地位以及该海域的自然灾害风险和海盗活动、恐怖袭击与军事冲突等人为灾害风险, 基于风险评估理论从孕灾环境敏感性、致灾因子危险性和承灾体脆弱性等方面选取评价指标并建立评估模型, 利用地理信息系统(GIS)平台得到了该区域的自然灾害风险、人为灾害风险和综合风险区划。结果表明, 冬季(1月), 综合风险最高的区域为亚丁湾、孟加拉湾湾顶、马六甲海峡附近以及越南东南部近海, 其次为南海东北部海域、南沙群岛西部海域、巽他海峡、望加锡海峡、科摩林角附近海域、霍尔木兹海峡及索马里近海; 夏季(7月), 综合风险最高的区域为亚丁湾、孟加拉湾湾顶及马六甲海峡附近, 其次为索马里东北部海域、阿拉伯海中西部、斯里兰卡西南近海、吕宋岛西部近海以及巴士海峡附近。

关键词: 南海; 印度洋; 海洋灾害; 风险评估; 航行安全

中图分类号:X4 文献标识码:A 文章编号: 1009-5470(2012)06-0121-07

Disaster assessment and risk zoning concerning the South China Sea and Indian Ocean safety

LI Xin^{1,2}, HONG Mei¹, WANG Bo¹, ZHANG Ren¹, GE Shan-shan¹, QIAN Long-xia¹

1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China; 2. Meteorology Station of No. 92962 Troops, Guangzhou 510320, China

Abstract: Aiming at the rich marine resource, important strategic status and potential natural disaster as well as man-made disaster such as terrorism and military conflict in the South China Sea and Indian Ocean, assessment indices were selected for risk evaluation modeling from disaster-forming environment, menace of disaster-causing factor and disaster-bearing substance based on risk assessment theory. Then, natural disaster risk, man-made disaster risk and synthetic risk were calculated and zoned, respectively, using GIS platform. The results suggested that in winter the regions with the highest synthetic risk are located in the Gulf of Aden, the top of the Bay of Bengal, around Malacca and southeastern offshore of Vietnam, with the second-highest synthetic risk regions located in the northeastern South China Sea, west of the Spratly Islands, Sunda Strait, Makassar Strait, Laccadive Sea, the coast of Somalia and the Hormuz Strait. In summer, the Gulf of Aden, the top of the Bay of Bengal, and Malacca are the highest synthetic risk regions, while the central and western Arabian Sea, northeastern waters off Somalia, southwest coast of Sri Lanka, west coast of Luzon, and region near the Bashi Channel are the second-highest synthetic risk regions.

Key words: South China Sea; Indian Ocean; marine disaster; risk assessment; safety of navigation

随着陆地资源的日趋枯竭和海洋开发的深入, 一个濒海大国, 中国要在新世纪实现民族复兴和国家富强的伟大战略目标, 必须抛弃传统的“重陆轻

收稿日期: 2010-03-04; 修订日期: 2012-01-11。孙淑杰编辑

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2004036012); 江苏省自然科学基金面上项目(BK2011123)

作者简介: 黎鑫(1985—), 男, 重庆市人, 工程师, 博士, 从事海洋环境保障研究。E-mail: lixin-28@163.com

通信作者: 张韧(1963—), 男, 四川省峨眉市人, 教授, 博导。Tel: 025-80831406; E-mail: zren63@126.com

海”的观念,关注海洋、利用海洋、经略海洋。

对于中国来说,南海和印度洋都具有极为重要的战略地位。然而,上述海域的安全形势却不容乐观。一是热带气旋、强风、大浪等自然灾害频发;二是地形地貌、海峡水道复杂,暗礁、浅滩众多,构成船舶航行的潜在威胁;三是各国势力角逐激烈,武装冲突一触即发;四是海盗活动和恐怖势力猖獗,且有愈演愈烈的趋势。因而,基于风险分析理论和统计决策技术,开展南海-印度洋海域自然灾害和人为灾害风险评估与应急响应的方法技术研究,显得尤为迫切。

在自然灾害风险评估方面,国内外学者已经开展了大量研究,从基本理论^[1-5]到实际应用^[6-18]取得了一系列研究成果。许多研究已将自然灾害与区域社会经济特性关联起来,并且对承灾体脆弱性评估的研究也日益增多^[11-14]。在区域多灾种风险综合评价方面,国内外学者也开始进行尝试和探索^[6, 15-17],但还缺乏系统的理论与方法总结,并且上述文献基本上都是针对陆地上的自然灾害展开风险评估,对于海上自然灾害风险的研究则极少涉及。

在人为突发事件风险评估的研究方面,国内外都还处于初级阶段,尤其是对海上突发事件的研究还很薄弱,检索到的少量相关文献多是对海上溢油事件风险进行的评估研究^[18-23],并未涉及海盗与恐怖袭击风险、海峡水道与能源通道风险、领海主权争端风险以及海洋资源争端风险等。

针对上述研究现状和南海-印度洋多种多样的海洋灾害,本文将基于风险评估理论,从孕灾环境敏感性、致灾因子危险性和承灾体脆弱性等方面选取评价指标,探索性地建立海上自然灾害风险、人为灾害风险及综合风险评估模型,并利用基础地理信息数据、ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)大气海洋综合数据集以及 IMO (International Maritime Organization)等海事数据,通过 GIS (Geographic Information System)平台计算和显示相应的风险区划结果,为南海-印度洋海域的环境风险评估和应急响应提供决策支持。

1 方法、途径与资料

1.1 基本定义

按照风险理论的基本概念和定义^[1-2],参考自然灾害风险分析方法^[3-6],可把海洋环境风险要素归纳为如下几个方面。

1) 孕灾环境:是指灾害发生的背景环境,包括

孕育灾害的自然地理环境与人文经济环境。孕灾环境参数包括区域自然地理基本要素(地貌、地质、气候、水文、土壤、植被等),它反映区域环境对自然灾害的敏感性或稳定性。孕灾环境的孕灾能力越强,对灾害的放大效应就明显。在灾害研究中,通常称孕灾环境的这种特性为孕灾环境敏感性^[7]。

2) 致灾因子:也就是能造成一定灾害或破坏性的因子。这些因素的异常程度越大,则给人类社会和经济活动造成破坏的可能性越大,造成的破坏可能越强烈;相应地,人类社会和经济体系承受的来自该风险源的危害风险就可能越高。灾害研究中,风险源的这种性质通常称为危险性,它主要是由灾变活动规模(强度)和活动频次(概率)决定的^[8]。

3) 承灾体:风险分析中,承受灾害的对象称为承灾体。有危险性并不意味着灾害一定存在,因为灾害是相对于行为主体——人类及其社会经济活动而言的,只有某风险源有可能危害某社会经济目标——某受灾体后,对一定的风险承担者来说,才承担了相对于该风险源和该风险载体的灾害风险。因此,一般将承灾体的这种特性称为脆弱性,亦有人称之为易损性^[10]。

以上三大基本要素,是开展灾害风险评估工作的基础。

1.2 方法、途径

南海-印度洋海洋灾害风险评估是一个区域性的灾前评估,是对区域内各种灾害事件的危险程度、可能造成的损失程度以及防御效益进行预测性的评价,评估方法包括:

1) 选择海洋灾害风险评估所需的各种资料(包括基础地理信息数据、ICOADS 大气海洋综合数据集以及 IMO 等海事数据等),进行分析处理,建立相应的数据库;

2) 构建风险评估模型,对孕灾环境敏感性、致灾因子危险性、承灾体脆弱性进行指标选取,对各个指标的权重进行确定;

3) 基于 GIS 平台,利用空间叠加、分析、图斑合并以及属性数据库操作功能,对海洋环境风险进行评价,确定区划单元,划分灾害等级并进行灾害区划。

技术途径:第一步,在 GIS 平台下,建立相应的基础地理信息、气象水文、海事报告、历史冲突和资源分布等数据库;第二步,进行海洋灾害风险识别;第三步,构建指标体系和评价模型;第四步,分别对各种灾害进行敏感性、危险性和脆弱性分析,

得到单灾种风险值及其区划结果;第五步,进行多灾种加权评估,分别得到自然和人为灾害风险区划;第六步,通过 GIS 的重分类和加权分析技术将两大类灾害进行合成,得到综合风险及其区划。

1.3 数据资料

根据研究范围需要,本文各种资料的范围均取为(15°S—30°N, 45°—132°E)。

1) 基础地理信息: 包含陆地高程数据、海洋地形数据和行政区划数据。其中陆地高程地形采用 SRTM30 数据,由美国国家图像和测绘局(NIMA)同美国宇航局(NASA)合作开发,精度为 30"×30";海洋地形通过提取 TerrainBase 数据集的海洋部分而得,该数据集由美国国家地球物理数据中心和世界固体地球物理学数据中心共同创建,分辨率为 5'×5';行政区划数据则是将世界地图^[24]和中国地图^[25]按分析范围截取并数字化后拼接而成。

2) 海洋水文气象数据: 研究所用的海洋水文气象资料包括 ICOADS(综合海洋-大气数据集)数据、近实时船舶报数据、ds824.1 和 CMA-STI 等热带气旋路径数据以及 Argo 数据等。上述资料都是不规则的散点数据,故先将其读取出来后,按 1°×1°的经纬网格进行存放,然后进行月平均的统计分析。

3) IMO 海事报告数据: 主要指海盗报告,为文档形式。内容包括: ①受袭击船的船名、船舶种类和吨位、船旗国以及 IMO 编号; ②袭击发生日期和时间; ③事件发生的地点(通常有具体经纬度); ④事件的详细情况; ⑤船员、船及货物所遭受的后果; ⑥船长和船员所采取的行动; ⑦沿岸国家所采取的

行动。本文下载了 2005—2009 年的 IMO 海盗报告(文档编号从 MSC.4/Circ.62—MSC.4/Circ.147)^[26],从中提取出有效信息并数字化,录入海盗事件数据库,并集成到 GIS 平台上。

2 风险评估模型

2.1 风险概念模型

风险理论认为,风险是危害事故发生的可能性与危害事故严重程度的综合度量^[1,3]。衡量风险大小的指标是风险度 R (risk),它等于事故的威胁性 T (threat)大小与承灾体脆弱性 V (vulnerability)的乘积:

$$R=T \times V \quad (1)$$

事故的威胁性可用孕灾环境敏感性 S (Sensitivity)和致灾因子危险性 D (Danger)表示,因此风险 R 可表示为:

$$R=S \times D \times V \quad (2)$$

式中,敏感性 S 表示灾害发生环境对灾害的放大效应,危险性 D 表示目标遭受灾害袭击的概率和强度;脆弱性 V 表示灾害导致承灾体损坏发生的概率,即袭击导致目标产生损失的期望。

2.2 层次结构和评价指标分析

进行南海-印度洋海域环境风险评估,首先要建立合理的指标体系。指标体系的逻辑结构不仅要符合社会生活所固有的客观规律,而且应具有代表性和简明性,同时在量化分析时还应具有一定的可操作性。利用层次分析法,对南海-印度洋环境风险进行分析,选取模型结构如图 1 所示。其中,自然灾害风险指由于自然地理特征、气象水文灾害等自然因

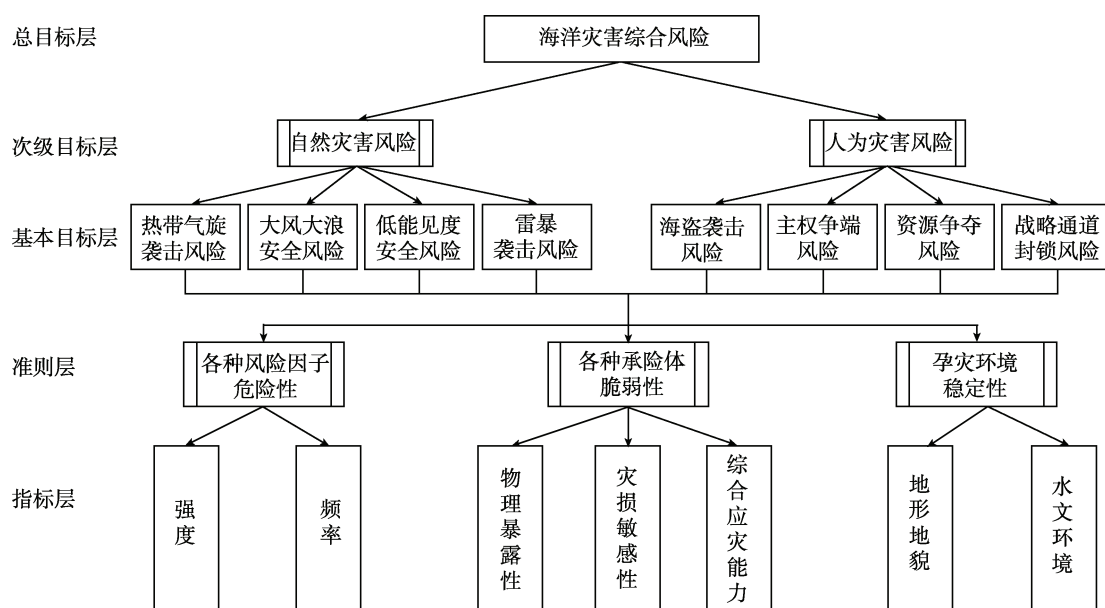


图 1 南海-印度洋海洋灾害风险指标体系

Fig. 1 Index system of marine disaster risk in the South China Sea and India Ocean

素造成的无法回避的风险;本文选取热带气旋、六级以上大风(五级上海况)、雷暴、低能见度等 4 个因子进行分析;人为灾害风险是指由于人为因素造成的风险,本文选取海盗活动与恐怖袭击、主权争端、资源争夺以及战略通道封锁作为现实风险因子。承灾体主要包括远洋船舶、海上平台、海峡水道、岛屿以及国家经济体,其脆弱性主要考虑物理暴露性、灾损敏感性及综合应灾能力 3 个评价指标。

对灾害的危险性分析,主要采用历史统计资料,得到每一种灾害可能发生的频率和强度。对灾害的脆弱性分析,可借鉴灰色关联分析中的设定评语集方法,对分析指标进行量化^[27],即先给分析指标拟定合适的评语集并赋予相应的等级值,由专家选定评语,最后通过评语来确定各指标的量子。例如,对综合应灾能力在 1—10 内评分,分值越大,表示防御灾害的能力越强。

用层次分析法(AHP)来确定评价指标权重,采用 Saaty 的 1—9 标度法^[28]来反映指标间相对重要性比较,对指标的相对重要性之比作出判断,将专家的定性思维过程给予量化(表 1)。

表 1 1—9 比例标度的含义

Tab. 1 Implication of 1—9 ratio scale

判断值	含义
1	表示两个指标一样重要
3	表示前一指标比后一指标重要一点(稍微重要)
5	表示前一指标比后一指标重要(明显重要)
7	表示前一指标比后一指标重要得多(强烈重要)
9	表示前一指标比后一指标极端重要(绝对重要)
1, 1/3, ..., 1/9	上述情况的相反情况

以脆弱性评价为例,对物理暴露性、灾损敏感性和综合应灾能力 3 个指标进行成对比较,获得准则层 3 个指标间的定性比较结果。依据表 1 的标度,将定性比较结果转化为标度,构建判别矩阵 A 。元素 $a_{ij}=n$,表示第 i 个和第 j 个指标相比,其标度为 n ;如判别矩阵 A 中 $a_{12}=3$,物理暴露性与灾损敏感性相比,标度为 3,说明物理暴露性略微重要。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

判别矩阵 A 最大特征根 $\lambda_{\max}=3.0385$,归一化特征向量 $W=(0.6370, 0.2583, 0.1047)^T$ 。对所得结果进行一致性检验(表 2)。一致性系数 $I_C=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=0.0192$ 。

对照表 2, $n=3$ 时随机一致性指标 $I_R=0.58$,一

致性比率 $R_C=I_C/I_R=0.0332<0.1$,通过一致性检验,即归一化特征向量值可作为上述 3 个指标的权重。同样方法可计算得其余评价指标权重。

表 2 随机一致性检验指标 I_R

Tab. 2 Index of random consistence check

n	3	4	5	6	7	8	9
I_R	0.58	0.91	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

2.3 评价模型

根据风险指数表达式(2),结合风险成因与评价指标,建立如下南海-印度洋海域风险评价模型。

单灾种风险的评价模型为:

$$R_i = \left(\prod_{j=1}^2 S_{ij}^{W_{ij}} \right)^{W_S} \left(\prod_{k=1}^2 D_{ik}^{W_{ik}} \right)^{W_D} \left(\prod_{l=1}^3 V_{il}^{W_{il}} \right)^{W_V} \quad (3)$$

其中:

$$\prod_{j=1}^2 S_{ij}^{W_{ij}} = S_{Gi}^{W_{SG}} \cdot S_{Hi}^{W_{SH}} \quad (4)$$

$$\prod_{k=1}^2 D_{ik}^{W_{ik}} = D_{Pi}^{W_{DP}} \cdot D_{Li}^{W_{DL}} \quad (5)$$

$$\prod_{l=1}^3 V_{il}^{W_{il}} = V_{Ei}^{W_{VE}} \cdot V_{Si}^{W_{VS}} \cdot (1 - V_{Fi})^{W_{VF}} \quad (6)$$

自然灾害风险的评价模型如下:

$$R_N = \sum_{i=1}^4 W_i R_i \quad (7)$$

人为灾害风险的评价模型如下:

$$R_M = \sum_{i=5}^8 W_i R_i \quad (8)$$

综上,得出综合风险:

$$R_C = W_N R_N + W_M R_M \quad (9)$$

(3)—(9)式中, R_i 为南海-印度洋海域第 i 类灾害风险值, W_i 为其对应权重; R_N 、 R_M 、 R_C 分别为自然灾害风险值、人为灾害风险值和灾害综合风险值, W_N 、 W_M 分别为自然灾害风险和人为灾害风险的权重; S_{ij} 为第 i 类灾害第 j 项敏感性指标的评价值, W_{ij} 为其对应权重; D_{ik} 为第 i 类灾害第 k 项危险性指标的评价值, W_{ik} 为其对应权重; V_{il} 为第 i 类灾害第 l 项脆弱性指标的评价值, W_{il} 为其对应权重; W_S 、 W_D 、 W_V 分别为准则层中孕灾环境敏感性、致灾因子危险性和承灾体脆弱性的权重; S_{Gi} 、 S_{Hi} 分别为第 i 类灾害敏感性指标中地形地貌和水文环境的评价值, W_{SG} 、 W_{SH} 分别为其对应权重; D_{Pi} 、 D_{Li} 分别为第 i 类灾害危险性指标中灾害频率和灾害强度的评价值, W_{DP} 、 W_{DL} 分别为其对应权重; V_{Ei} 、 V_{Si} 、 V_{Fi} 分别为第

*i*类灾害脆弱性指标中物理暴露性、灾损敏感性和综合应灾能力的评价值, W_{VE} 、 W_{VS} 、 W_{VF} 分别为其对应权重。

将各指标等级值和权重系数代入(3)—(9)式, 可计算得到南海-印度洋海域单类灾害风险指数、自然灾害风险指数、人为灾害风险指数以及灾害综合风险指数。

3 南海-印度洋海域的风险评估

由前文可知, 南海-印度洋海洋灾害风险种类繁多, 承灾体也是多种多样, 各种风险的内容以及各种承灾体的价值很难用一个统一的标准去衡量。因此, 本文选取涉及范围最广、最容易遭受各种灾害的海上船舶这一承灾体进行南海-印度洋海洋灾害风险评估。

3.1 单灾种风险评估

在对某个风险因子进行分析后, 利用模型(3)即可计算得出各个区域单类因子风险值。在此基础上, 对研究区域内的所有风险值进行等级划分(划分标准如表 3), 并采用 GIS 技术绘制出南海-印度洋的各单因子风险区划图。由于单因子风险区划可清楚地表明每一种灾害风险的分布情况, 因此, 在实施应急救援时, 可提供直观的辅助决策信息。

表 3 单灾种风险等级划分
Tab. 3 Ranks of single disaster risk

R_i 评价 分值	等级	特征描述
≥ 80	一级	风险很高, 受灾害影响或袭击的可能性很大, 损失程度十分严重
60—80	二级	风险较高, 受灾害影响或袭击的可能性较大, 损失程度比较严重
40—60	三级	风险中等, 受灾害影响或袭击的可能性不大, 损失程度一般严重
20—40	四级	风险较低, 受灾害影响或袭击的可能性较小, 损失程度较小
≤ 20	五级	风险很低, 受灾害影响或袭击的可能性很小, 损失程度很小

以海盗袭击风险为例, 首先将海盗袭击风险底层指标评价值进行标准化处理, 然后代入(3)式中进行计算, 从而得到各单元的海盗袭击风险值。也可以先计算出各评价单元海盗袭击的敏感性、危险性和脆弱性值, 并分别在 GIS 平台上进行区划制图, 然后利用 GIS 的空间叠加功能对这 3 个图层进行代数运算, 从而得到海盗袭击风险区划图(图 2)。

从图 2 可以看出, 海盗袭击风险在各区域存在较大差异。南海-印度洋中海盗袭击一级风险区为亚

丁湾海域、马六甲海峡、马来半岛东南海域、孟加拉国沿海、越南东南近海以及斯里兰卡和科摩林角西南近海, 这些海域船舶遭受海盗袭击的风险最大; 而索马里海岸以外 600km 范围内风险等级几乎都在三级以上, 部分海域甚至达到二级风险。此外, 巽他海峡及其附近、望加锡海峡、马尼拉西部沿海海盗袭击的风险也较高, 在三级或三级以上。其余海域一般都为四级以下风险。

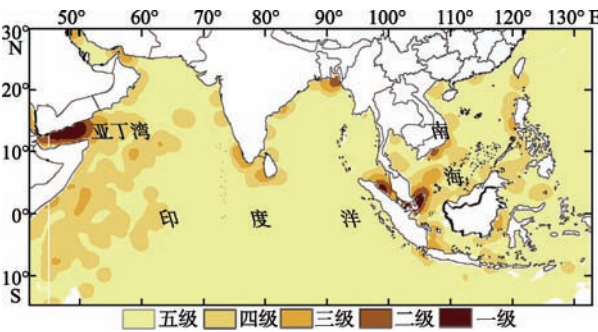


图 2 南海-印度洋海盗袭击风险区划图
Fig. 2 Risk zonation of pirate attack in the South China Sea and India Ocean

3.2 多灾种风险区划

在对各单灾种风险进行评估后, 即可对次级目标层(自然灾害风险、人为灾害风险)展开多灾种的评估与区划。以 7 月份自然灾害风险为例, 选取了热带气旋、大风大浪、雷暴、低能见度等 4 个灾种, 根据 Delphi 法确定各灾种的风险权重, 基于专家知识和历史灾情统计建立判别矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 1 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得到权重向量 $W=(0.42, 0.23, 0.12, 0.23)^T$, $\lambda_{\max}=4.0104$, 于是 $I_C=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=0.0035$, 而 $I_R=0.90$, 因此 $R_C=I_C/I_R < 0.1$, 满足一致性条件。因此考虑船舶安全的自然灾害风险 R_N 的表达式如下:

$$R_N = 0.42R_1 + 0.23R_2 + 0.12R_3 + 0.23R_4 \quad (10)$$

式中, R_1 为热带气旋风险, R_2 为大风、大浪的加权风险, R_3 为雷暴风险, R_4 为能见度风险。根据计算结果, 即可得到自然灾害风险区划图(图 3)。

从图 3a 可以看出, 冬季(1月), 南海大部自然灾害风险较高, 在二级以上, 其中台湾海峡和巴士海峡高达一级; 而印度洋的风险则普遍较低, 一般在三级以下。图 3b 表明, 夏季(7月), 自然灾害风险较

高海域主要位于南海东北部、阿拉伯海、索马里东北部海域及孟加拉湾中部，在二级以上；其余海域则普遍在三级以下，风险较低。

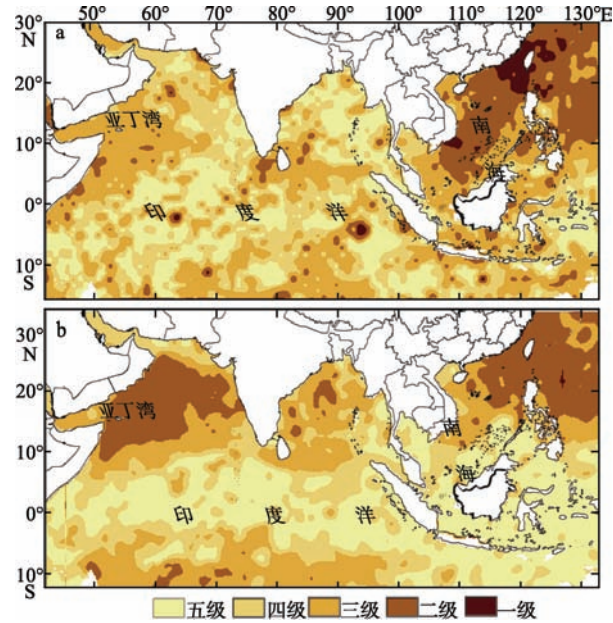


图 3 南海-印度洋海域自然灾害风险区划图
a. 1 月; b. 7 月
Fig. 3 Risk zonation of natural disaster in the South China Sea and India Ocean. a) January; and b) July

3.3 综合风险区划

考虑到两大类风险的含义和数据标准有所不同，因此这里将自然灾害风险 R_N 和人为灾害风险 R_M 进行重分类，按一到五级分别赋予分值 5 分、4 分、3 分、2 分和 1 分。若考虑风险人为灾害风险比人为灾害风险略为重要，可将两者权重分别取 0.6 和 0.4，代入模型(7)得：

$$R_C = 0.4R_N + 0.6R_M \quad (11)$$

根据上述计算值，利用自然断点法对综合风险进行等级划分，如表 4 所示，进而绘制出灾害综合风险区划图(图 4)。

从图 4a 可知，冬季(1 月)，船舶航行安全综合风险最高的区域为亚丁湾、孟加拉湾湾顶、马六甲海峡附近以及越南东南部近海，达一级风险；其次为南海东北部海域、南沙群岛西部海域、巽他海峡、望加锡海峡、科摩林角附近海域、霍尔木兹海峡及索马里近海，为二级左右；其他海域风险较低，普遍在三级以下。而图 4b 则表明，夏季(7 月)，综合风险最高的区域为亚丁湾、孟加拉湾湾顶及马六甲海峡附近，达一级风险；其次为索马里东北部海域、阿拉伯海中西部、斯里兰卡西南近海、吕宋岛西部近海以及巴士海峡附近，在二级左右；其余海域风险

较低，在三级以下。

表 4 南海-印度洋海洋灾害综合风险等级划分
Tab. 4 Ranks of synthetic marine disaster risk

R_C 评价 分值	等级	特征描述
≥ 4	一级	综合风险很高，受灾害影响或袭击的可能性很大，损失程度十分严重
3—4	二级	综合风险较高，受灾害影响或袭击的可能性较大，损失程度比较严重
2—3	三级	综合风险中等，受灾害影响或袭击的可能性不大，损失程度一般严重
1—2	四级	综合风险较低，受灾害影响或袭击的可能性较小，损失程度较小
≤ 1	五级	综合风险很低，受灾害影响或袭击的可能性很小，损失程度很小

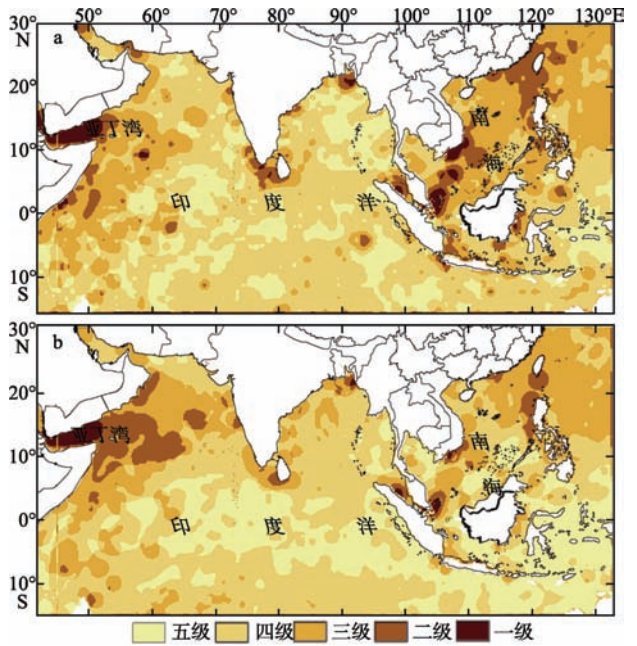


图 4 南海-印度洋海洋灾害综合风险区划图
a. 1 月; b. 7 月
Fig. 4 Risk zonation of synthetic marine disaster in the South China Sea and India Ocean. a) January; and b) July

4 小结

本文基于风险评估理论与方法，建立了南海-印度洋海洋灾害风险指标体系和评价模型，并利用 GIS 平台和基础地理信息数据、ICODAS 大气海洋综合数据集以及 IMO 等海事数据，进行了自然灾害风险、人为灾害风险及船舶航行安全综合风险评估和区划的初步尝试，结果如下。

1) 南海-印度洋中，海盗袭击风险最高的区域为亚丁湾海域、马六甲海峡、马来半岛东南海域、孟加拉国沿海、越南东南近海以及斯里兰卡和科摩林角西南近海，为一级风险；而索马里海岸以外 600km 范围内风险等级几乎都在三级以上，部分海

域甚至达到二级风险。此外, 巽他海峡及其附近、望加锡海峡、马尼拉西部沿海海盗袭击的风险也较高, 在三级或三级以上。

2) 冬季(1月), 南海大部自然灾害风险较高, 在二级以上, 其中台湾海峡和巴士海峡高达一级; 而印度洋的风险则普遍较低, 一般在三级以下。夏季(7月), 自然灾害风险较高海域主要位于南海东北部、阿拉伯海、索马里东北部海域及孟加拉湾中部, 在二级以上; 其余海域则普遍在三级以下, 风险较低。

3) 冬季(1月), 船舶航行安全综合风险最高的区域为亚丁湾、孟加拉湾湾顶、马六甲海峡附近以及越南东南部近海, 达一级风险; 其次为南海东北

部海域、南沙群岛西部海域、巽他海峡、望加锡海峡、科摩林角附近海域、霍尔木兹海峡及索马里近海, 为二级左右; 其他海域风险较低。夏季(7月), 综合风险最高的区域为亚丁湾、孟加拉湾湾顶及马六甲海峡附近, 达一级风险; 其次为索马里东北部海域、阿拉伯海中西部、斯里兰卡西南近海、吕宋岛西部近海以及巴士海峡附近, 在二级左右。

由于资料和技术等原因, 目前对海上自然灾害的风险评估尚没有成熟的体系模型, 对海上人为灾害风险评估的研究更是十分缺乏。本文只是对此复杂问题进行了初步的探索, 许多方面还不尽完善, 有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] United Nations, Department of Humanitarian Affairs. Mitigating natural disasters: Phenomena effects and options—A manual for policy makers and planners [M]. New York: United Nations, 1991: 1–164.
- [2] United Nations, Department of Humanitarian Affairs. Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management[R]. Geneva, 1992: 1–81.
- [3] 史培军. 论灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1991, 11(自然灾害研究专辑): 37–42.
- [4] 黄崇福. 自然灾害风险评价-理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 3–19.
- [5] 谢梦莉. 气象灾害风险因素分析与风险评估思路[J]. 气象与减灾研究, 2007(2): 57–59.
- [6] 葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 136–234.
- [7] 童亿勤, 杨晓平, 李加林. 宁波市水旱灾害孕灾环境因子分析[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 32–35.
- [8] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 33–37.
- [9] 张继权, 冈田宪夫, 多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(7): 29–37.
- [10] 许世远, 王军, 石纯, 等. 沿海城市自然灾害风险研究[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 127–138.
- [11] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性评价指标体系研究[J]. 现代地质, 2001, 11(1): 113–116.
- [12] 尹娜, 肖稳安. 区域雷灾易损性分析、评估及易损度区划[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 441–448.
- [13] 汪朝辉, 王克林, 熊鹰, 等. 湖南省洪涝灾害脆弱性评估和减灾对策研究[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(6): 586–606.
- [14] 郝璐, 王静爱, 史培军, 等. 草地畜牧业雪灾脆弱性评价——以内蒙古牧区为例[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 51–57.
- [15] UNDP. Reducing disaster risk: A challenge for development[EB/OL]. [2004-01-10]. <http://www.undp.org/bcpr>.
- [16] DILLEY M, CHEN R S, DEICHMANN U, et al. Natural disaster hotspots: A global risk analysis [M]. Washington, D C: The International Bank for Reconstruction and Development /The World Bank and Columbia University, 2005: 1–148.
- [17] SHI P J, DU J, JI M X, et al. Urban risk assessment research of major natural disasters in China[J]. Advances in Earth Science, 2006: 21(2): 170–177.
- [18] CONTHEM C R, CONIGLIO W A, MARCUS W L. Development of quantitative estimates of uncertainty in environmental risk assessments when the scientific data base is inadequate [J]. Environment International, 1986, 12(6): 643–647.
- [19] SUTER G W, BARNTHOUSE L W, O'NEILL R V. Treatment of risk in environmental impact assessment[J]. Environmental Management. 1987, 11(3): 295–303.
- [20] 邵利民, 周立佳, 石爱国, 等. 船舶海上溢油事故的风险预测及灾害评估[C]. 中日航海学术交流会议论文集. 中国武汉: 中国航海学会, 1998: 26–33.
- [21] 李品芳, 黄家亮. 模糊综合评判在港口船舶溢油风险区划分中的应用[J]. 交通环保, 1999, 20(2): 12–14.
- [22] 肖景坤. 船舶溢油风险评价模式与应用研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2001: 1–113.
- [23] 洪晓煜, 陈伟琪, 张珞平. 罗源湾船舶溢油风险评价分析[J]. 海洋通报, 2009, 28(1): 59–64.
- [24] 中国地图出版社. 世界地图[M]. 北京: 中国地图出版社, 2010.
- [25] 中国地图出版社. 中国地图[M]. 北京: 中国地图出版社, 2010.
- [26] International Maritime Organization. Reports On Acts Of Piracy And Armed Robbery Against Ships[R/OL]. [2010-01-05]. <http://www.imo.org/includes/blastData.asp/>.
- [27] 张辉, 高德利. 基于模糊数学和灰色理论的多层次综合评价方法及其应用[J]. 数学的实践与认识, 2008: 38(3), 1–6.
- [28] 刘来福, 曾文艺. 数学模型与数学建模[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2002: 75–81.