

# 辽东湾近岸海域油污染生态风险评价研究

王思宇<sup>1</sup>, 陶平<sup>1</sup>, 宗勇军<sup>2</sup>, 邵秘华<sup>1</sup>

(1. 大连海事大学 环境科学与工程学院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连海洋环境监测中心站, 辽宁 大连 116015)

**摘要:** 以 2014–2015 年海洋调查数据为基础, ArcGIS 软件为平台, 通过选取致灾因子危险性、承灾体脆弱性相关影响因子, 基于灾害理论和层次分析法构建了辽东湾近岸海域油污染生态风险评价指标体系、评价模型及评价标准, 将致灾因子危险性等级和承灾体脆弱性等级进行叠加, 从而实现对研究海域油污染生态风险进行综合评价, 并对该海域溢油风险可能导致的环境影响进行了系统分析、诊断和综合评价。结果表明: 辽东湾近岸海域风险处于较高风险, 应加强对环境敏感区域的保护, 并完善环境监测体系。本文同时为重要湿地生态敏感区合理配置溢油应急资源和实施风险决策提供技术支持, 也为目前事故后的危机管理到预防性风险管理的转变提供理论依据。

**关键词:** 溢油; 承灾体; 致灾因子; 河口; 生态风险

中图分类号: X826 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)09-0143-08

DOI: 10.11759/hyxx20161121001

随着沿岸经济带建设和海洋开发的迅猛发展, 提升了海上石油运输业和石油开采业的快速期, 同时带来海洋溢油事件的频发<sup>[1]</sup>, 其造成的生态损害其范围十分广泛, 导致局部海域溢油污染造成的近岸生态退化愈加严重, 不但包括对海洋生物的损害, 还包括对海洋生境的损害, 甚至对人类健康都会造成直接或间接影响<sup>[2]</sup>, 这些都引起政府和海洋学术界的关注和重视, 因此, 建立油污染风险评价对海洋管理部门建立溢油事故反应、生态资源补偿及评估等具有极为重要的研究意义。

目前, 国际上对油污损害评估技术的研究已较为成熟, Jack 等<sup>[3]</sup>从生物学角度出发, 利用众多的分子、细胞和生理生物标记海洋动物的反应, 以评估石油化合物的污染损害; Duarte 等<sup>[4]</sup>选择珊瑚物种的生物学指标, 模拟石油泄漏发生频率和珊瑚的死亡事故的关系, 开展了巴西海岸的海洋保护区的风险研究; Kankara 等<sup>[5]</sup>将溢油模拟与沿海资源信息结合起来, 通过整合沿海资源信息系统和石油泄漏轨迹模型, 为钦奈海岸进行了基于情景的风险评估和敏感性指数化研究。而国内方面, 高振会等<sup>[6]</sup>提出了海洋溢油对环境与生态损害评估方法, 为国内的溢油环境损害评估和赔偿提供了参考; 刘胜<sup>[7]</sup>在沿海石油储运溢油风险评价的研究论文中, 对沿海石油储运溢油风险评价建立了分层面的指标体系, 其中包括储运系统、油品储存、港区油码头以及输油管线等环节; 杨阳<sup>[8]</sup>在大连新港船舶溢油风险评价及防范

系统研究中系统而较为全面的建立了三层指标体系, 其第二层——评价准则层包括了自然条件、油船自身、港口条件、管理水平和人员五大因素, 并首次将码头布置合理程度作为评价因素层加入了船舶溢油风险评价的指标体系当中, 并将其构建的指标体系应用于大连新港船舶溢油风险的综合评价; 张倩等<sup>[9]</sup>通过对影响溢油污染程度的相关因素进行综合全面分析, 构建了海洋溢油污染评估指标体系, 并提出新的影响因子隶属度函数, 为海洋溢油污染等级评估提供支持。经文献查新, 目前未见有综合考虑海上船舶、石油平台、输油管线等多风险源, 建立河口及近岸海域油污染风险评价指标体系及评价方法的公开文献报导, 且已有研究中方法以及所考虑的评价因素和指标较为单一。因此, 本研究综合多方面因素并运用层次分析法构建判断矩阵, 针对辽东湾近岸环境风险评价指标及权重进行研究, 建立各分项生态风险评价体系制定和评价模型, 实现对研究海域油污染生态风险综合评价。

收稿日期: 2016-11-21; 修回日期: 2017-03-06

基金项目: 蓬莱 19-3 油田溢油事故生态修复项目-河口及近岸海域油污染风险评价及管理技术研究(201413)

[Foundation: Ecological restoration project of Penglai 19-3 oil spill accident- Study on Oil Pollution Risk Assessment and Management Technology in Estuary and Coastal Area, No. 201413]

作者简介: 王思宇(1991-), 女, 吉林长春人, 硕士研究生, 研究方向: 海洋环境评价和生态修复, E-mail: maviswang920@sina.com; 陶平, 通信作者, 副教授, 研究方向: 海洋环境评价和生态修复, E-mail: taoping\_dl@163.com

# 1 研究方法

## 1.1 研究区域概况

双台子河口湿地位于辽东湾北部海域，属于辽宁省盘锦市境内，为双台子河口自然保护区的所在地<sup>[10]</sup>。研究范围处于双台子河口国家级自然保护区和种子资源保护区<sup>[11]</sup>，同时也是辽河三角洲海洋开发活动中石油平台、码头、油气管线、航道、锚地等分布密度大、范围广的高风险敏感区，研究区域面积 5 786km<sup>2</sup>，详见图 1。

## 1.2 构建指标体系

本文筛选致灾因子、承灾体评价指标用以构建体系，其中致灾因子指自然或人为环境中，产生影响并造成灾害的元素<sup>[12]</sup>，承灾体指直接受到灾害影响和损害的主体<sup>[13]</sup>。综合考虑评价区域生态环境受气象、水文、人类活动干扰等多种因素共同作用，本文选取受溢油制约因素高、可导致局部生态失衡、生物资源易受破坏的介质为承灾体和致灾因子指标，具体分布详见图 2。

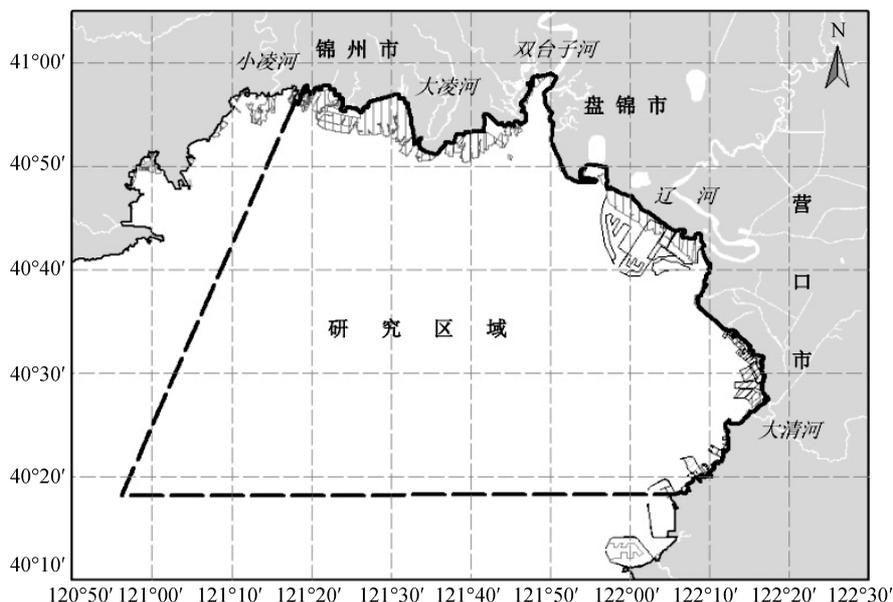


图 1 评价区域地理位置图

Fig. 1 Map of study area location

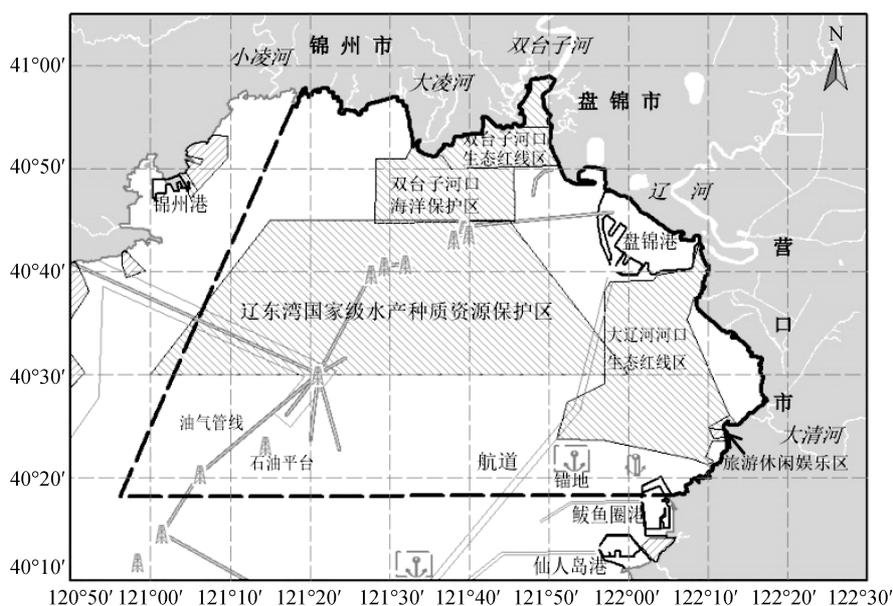


图 2 承灾体和致灾因子指标分布图

Fig. 2 Index map of hazard-bearing bodies and inducing factors

### 1.3 指标权重确定

考虑到本研究建立的油污污染评价指标体系是多层次的指标体系,因而采用定性和定量相结合的层次分析法来确定权重,其基本步骤如下:(1)通过两两指标相互比较,建立判断矩阵。这里为保证数据的科学合理

引进专家打分法,以电子邮件咨询和专家面对面咨询等形式,向海洋化学、海洋生态、海洋地质等相关领域的专家及研究人员共发出专家征询问卷进行两两比较打分;(2)计算权重和最大特征根;(3)一致性检验。

综上所述,指标体系及各指标权重值详见表 1。

表 1 河口及近岸海域油污污染风险评价指标体系

Tab. 1 Assessment index system of oil spill in estuarine and coastal waters

目标层	因素层 1	因素层 2	指标层	权重
河口及近岸 海域油污 风险(R)	承灾体脆弱性(V) (0.3333)	水体富营养化指标 (0.2289)	COD	
			DIN	
			DIP	
		石油类指标 (0.0726)	水体中石油类	0.666 7
			沉积物中石油类	0.333 3
		苯系物指标 (0.2111)	苯并芘	0.166 7
		多环芳烃	0.833 3	
	海洋生物指标 (0.0553)	浮游植物细胞数量	0.717 2	
		浮游动物生物量	0.194 7	
		底栖动物种群密度	0.088 1	
	环境敏感目标 (0.4322)	海洋保护区	0.683 3	
		旅游休闲娱乐区	0.116 8	
		养殖区	0.199 8	
	致灾因子危险性 (H) (0.6667)	风险源	海洋石油平台	0.328 6
油气管线			0.171 2	
运输航道			0.064 6	
陆源排污口			0.076 1	
石油码头			0.263 6	
	港口	0.095 9		

## 2 风险综合评价

### 2.1 评价指标分级

按各指标计算方法和其所依据的规程标准的不同,划定合理阈值,依轻度、中度、高度和极度进行分级<sup>[14-15]</sup>。

各承灾体指标中,水体富营养化经富营养化指数计算公式计算并划分等级;石油类指标中水体、沉积物环境石油类分别参照《海水水质标准》(GB 3097-1997)、《海洋沉积物质量标准》(GB 18668-2002)的阈值进行脆弱性等级划分;海洋生物指标方面参考马玉艳<sup>[16]</sup>《河口浮游动物群落生态健康评价方法及应用》,依据《近岸海洋生态健康评价指南》(HYT 087-2005),以背景值为基础做出调整和浮动;而环境敏感目标及各致灾因子指标方面,参考研究海域最大的涨落潮的潮程以及相关应急响应预案内容,

以 GIS 为平台,选取不同缓冲距离(R)进行等级划分,具体方法分别如表 2、表 3 所示。

### 2.2 综合指数评价

选取指数模型  $R_v = \sum_{i=1}^n W_i \times F_i$ , 再对各指标进行

赋值计算,最后得出相应等级区间。

式中:  $R_v$  为综合指数;  $W_i$  为各指标权重值;  $F_i$  为各指标评价得分值;  $n$  为评价指标的数目。

参考《海洋生态系统健康评价技术规程第一部分:海湾生态系统》相关分级标准,进行各指标脆弱性、危险性赋值,详见表 4。

### 2.3 等级表征

#### 2.3.1 承灾体脆弱性等级表征

结合上述评价指数模型计算结果,进行承灾体脆弱性等级划分详见表 5,脆弱性状态表征如下:

表 2 各承灾体脆弱性等级划分

Tab. 2 Classification of hazard-bearing bodies

脆弱级别	轻度脆弱	中度脆弱	高度脆弱	极度脆弱
水体富营养化指数	$E_n \leq 0.5$	$0.5 < E_n \leq 0.75$	$0.75 < E_n \leq 1$	$E_n > 1$
水体环境石油类	$C_w \leq 0.05$	$C_w \leq 0.05$	$C_w \leq 0.3$	$C_w \leq 0.5$
沉积物环境石油类( $\times 10^6$ )	$C_s \leq 500$	$C_s \leq 1000$	$C_s \leq 1500$	—
浮游植物 细胞数量	$\geq 50\%A \sim$ $\leq 150\%A$	$\geq 20\%A \sim < 50\%A$ 或 $> 150\%A \sim \leq 180\%A$	$\geq 10\%A \sim < 20\%A$ 或 $> 180\%A \sim \leq 200\%A$	$< 10\%A$ 或 $> 200\%A$
浮游动物生物量	$> 75\%B \sim$ $\leq 125\%B$	$> 60\%B \sim \leq 75\%B$ 或 $> 125\%B \sim \leq 140\%B$	$> 50\%B \sim \leq 60\%B$ 或 $> 140\%B \sim \leq 150\%B$	$\leq 50\%B$ 或 $> 150\%B$
底栖动物种群密度	$> 75\%C \sim$ $\leq 125\%C$	$> 60\%C \sim \leq 75\%C$ 或 $> 125\%C \sim \leq 140\%C$	$> 50\%C \sim \leq 60\%C$ 或 $> 140\%C \sim \leq 150\%C$	$\leq 50\%C$ 或 $> 150\%C$
海洋保护区	$R \geq 15$	8 $R < 15$	$0 < R < 8$	$R = 0$
旅游休闲娱乐区	$R \geq 10$	5 $R < 10$	$0 < R < 5$	$R = 0$
养殖区	$R \geq 12$	6 $R < 12$	$0 < R < 6$	$R = 0$

注: A、B、C 分别为近十年各指标的平均值, 其中  $A=80$  个/ $m^3$ ,  $B=200mg/m^3$ ,  $C=200$  个/ $m^2$ ,  $R$  单位为 km

表 3 各致灾因子危险性等级划分

Tab. 3 Classification of hazard-inducing factors

危险级别	轻度危险	中度危险	高度危险	极度危险
海洋石油平台	$R \geq 8$	$4 \leq R < 8$	$2 \leq R < 4$	$0 \leq R < 2$
油气管线	$R \geq 10$	$5 \leq R < 10$	$2 \leq R < 5$	$0 \leq R < 2$
运输航道	$R \geq 12$	$6 \leq R < 12$	$0 < R < 6$	$R = 0$
陆源排污口	$R \geq 15$	$10 \leq R < 15$	$5 \leq R < 10$	$0 \leq R < 5$
石油码头	$R \geq 8$	$4 \leq R < 8$	$2 \leq R < 4$	$0 \leq R < 2$
港口	$R \geq 10$	$5 \leq R < 10$	$0 < R < 5$	$R = 0$

注:  $R$  单位为 km

表 4 各指标赋值表

Tab. 4 Index value table

脆弱级别	轻度脆弱	中度脆弱	高度脆弱	极度脆弱
危险级别	轻度危险	中度危险	高度危险	极度危险
赋值	40	60	80	100

表 5 承灾体脆弱性评价指数等级划分

Tab. 5 Assessment index classification of vulnerability of hazard-bearing bodies

脆弱级别	轻度脆弱	中度脆弱	高度脆弱	极度脆弱
脆弱性指数	$R_v < 50$	$50 \leq R_v < 60$	$60 \leq R_v < 70$	$R_v \geq 70$

(a)轻度脆弱: 系统活力很强, 无生态异常, 生态功能极其完善, 系统极其稳定, 遭受损害的可能性极小; (b)中度脆弱: 系统活力较强, 无生态异常, 生态功能较完善, 系统尚稳定, 有一定程度遭受损害的可能性; (c)高度脆弱: 有一定的系统活力, 生态系统较不稳定, 已有少量生态异常出现, 遭受损害的可能性较高; (d)极度脆弱: 系统活力较低, 生态系统

较不稳定, 生态异常较多, 遭受损害可能性较高<sup>[17]</sup>。

### 2.3.2 致灾因子危险性等级表征

致灾因子危险性评价等级划分详见表 6, 危险性状态表征如下:

表 6 致灾因子危险性评价指数等级划分

Tab. 6 Assessment index classification of hazard-inducing factor risk

危险级别	轻度危险	中度危险	高度危险	极度危险
致灾因子危险性指数	$R_h < 50$	$50 \leq R_h < 60$	$60 \leq R_h < 70$	$R_h \geq 70$

(a)轻度危险: 发生油污染概率极低, 危险指数较低, 风险程度在生态系统的承受范围之内; (b)中度危险发生油污染概率较低, 危险指数中等, 风险程度较轻, 一定程度超出生态系统的承受范围; (c)高度危险: 发生油污染概率较高, 危险指数较高, 风险程度超出生态系统的承受范围; (d)极度危险: 发生油污染概率高, 危险指数高, 风险程度严重超出生态系

统的承受范围之内。

## 2.4 油污染风险综合评价

### 2.4.1 油污染风险评价模型

本文认为风险是致灾因子危险性和承灾体脆弱性二者共同作用的结果<sup>[18]</sup>，因而选取联合国于 2004 年提出的型进行风险评价模型的构建，其公式为：风险=危险×脆弱性<sup>[19]</sup>。再根据前文中通过层次分析法和专家打分法所求得二者相应权重值，建立了综合风险计算公式： $R = (0.6667)H + (0.3333)V$ ，式中  $R$  为风险值， $H$  为致灾因子危险性， $V$  为承灾体脆弱性。

### 2.4.2 油污染风险等级划分

油污染风险评价等级划分详见表 7，风险状态表征设计如下：

表 7 油污染风险评价等级划分

Tab. 7 Assessment classification of oil spill risk

风险级别	低风险	中等风险	较高风险	高风险
油污染风险	$R_r < 50$	$50 \leq R_r < 60$	$60 \leq R_r < 70$	$R_r \geq 70$

(a) 低风险：发生油污染概率极低，生态系统遭受

损害的可能性极小，风险指数较低，风险程度在生态系统的承受范围之内；(b) 中等风险：发生油污染概率较低，生态系统有一定程度遭受损害的可能性，风险指数中等，风险程度较轻，一定程度超出生态系统的承受范围；(c) 较高风险：发生油污染概率较高，生态系统遭受损害的可能性较高，风险指数较高，风险程度超出生态系统的承受范围；(d) 高风险：发生油污染概率高，生态系统遭受损害的可能性高，风险指数高，风险程度严重超出生态系统的承受范围之内。

## 3 结果分析

### 3.1 承灾体脆弱性评价

结合 GIS 空间叠加技术，绘制出脆弱性分区等级图及面积百分比图(图 3、4 所示)。由图可知，研究区的承灾体脆弱性分部特征为：脆弱性较大的模块多分布在海洋保护区、旅游休闲娱乐区、养殖区等区域。而随着近岸海域的水体富营养化程度的增高，海域普遍的脆弱程度较高，而较外部海域水质情况及沉积物质量状况较为良好。

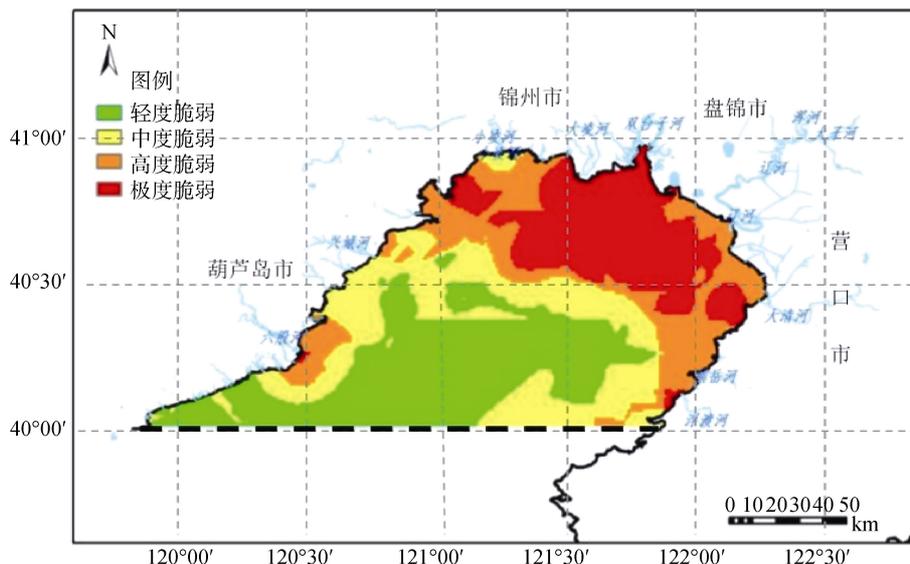


图 3 承灾体脆弱性等级图

Fig. 3 Vulnerability levels of hazard-bearing bodies

由图 4 可见，其面积百分比排序依次分别为：轻度(32%)>中度(26%)>极度(22%)>高度(20%)。该研究区的脆弱性分布特征为：极度脆弱区域占评价范围总面积的 22%，近似四分之一，而高度脆弱和极度脆弱的面积总百分比达到 42%，即评价范围内近一半区域内的承灾体脆弱性等级较高，生态系统不稳定程度较高，易受到风险源有害物质的污染和侵蚀。

### 3.2 致灾因子危险性评价结果

同理绘制致灾因子危险性等级图及面积百分比图(图 5、6 所示)，由图可知，其危险性分布特征为：危险程度较大的区域主要集中在海洋石油平台、输油管线、海上油轮运输等区域，特别是石油码头、运输航道等，陆源排污口周边地区虽危险性较低，但潜在隐患仍然不可忽视。

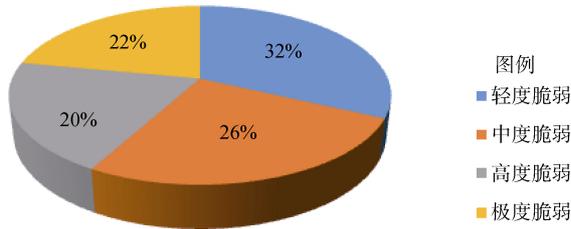


图 4 各脆弱性等级面积百分比图

Fig. 4 Area percentages of each vulnerability level

由图 6 可见，其面积百分比排序依次分别为：轻度(33%)>中度(28%)>高度(29%)>极度(10%)。分布特征为：虽然极度危险区域仅占评价范围总面积的 10%，但是高度危险区域百分比达到 29%，近总面积的三分之一，因而评价范围内风险较大的区域仍不容忽视，一旦发生危险，将会对河口及近岸造成较大影响。

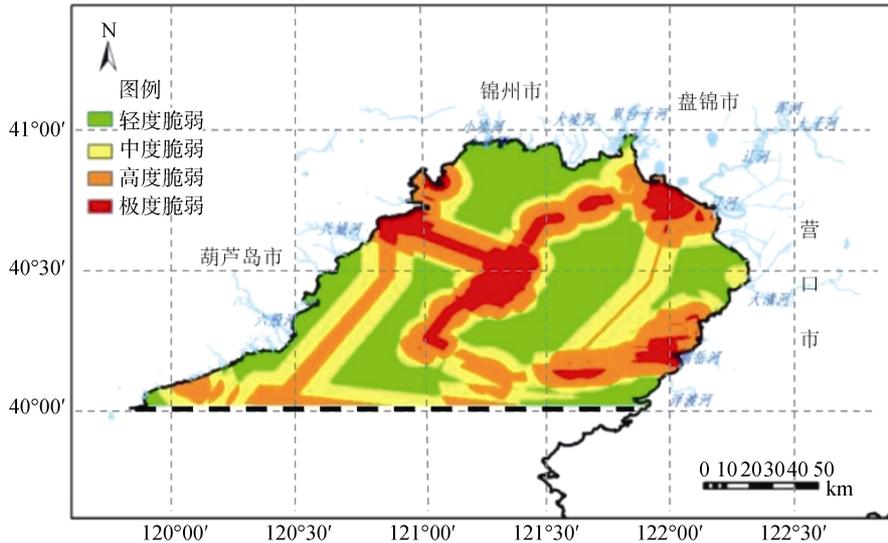


图 5 致灾因子危险性等级图

Fig. 5 Levels of hazard-inducing factor risk

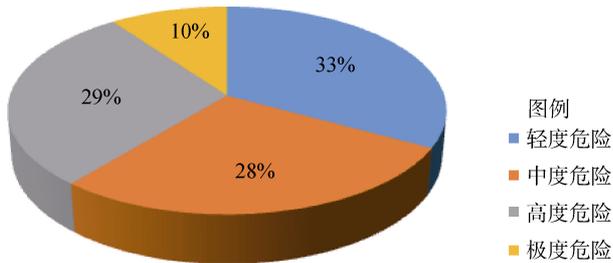


图 6 各危险性等级面积百分比图

Fig. 6 Area percentages of each hazard-inducing factor risk level

由图 8 可以看出，其面积百分比排序依次分别为：中等(32%)>较高(28%)=低(28%)>高(12%)。分布特征为：较高风险区域面积占评价范围总面积的 32%，这部分区域虽然中风险指数中等，风险程度较轻，但仍应对其可能出现的风险进行严格把控，否则，较高风险区域总面积将显著增加，甚至达到高风险等级，使得生态系统遭受损害的可能性显著增高，超出生态系统的承受范围。

### 3.3 河口及近岸油污污染风险综合评价结果

利用 GIS 技术将承灾体脆弱性等级图与致灾因子危险性等级图进行叠加，得到河口及近岸油污污染风险等级图，并绘制面积百分比图(图 7、8 所示)，由图可知其分布特征为：风险性较高的区域主要集中在海洋保护区、养殖区等环境敏感目标区域，以及海洋石油平台、运输航道等风险源区域，一旦溢油事故发生，敏感目标将受到较大影响，而各致灾因子对近岸海域造成污染的可能性较大，冲击力较高。

## 4 结论

本文对该海域溢油风险可能导致的环境影响进行了系统分析、诊断和综合评价，并得到以下研究结论：

- (1) 在承灾体脆弱性评价方面，脆弱度较高的区域集中分布在海洋保护区、旅游休闲娱乐区、养殖区等敏感目标区域内，应加强保护；在致灾因子危险性评价方面，呈现危险性较高的区域主要集中在石油勘探、开发及运输相关的风险源覆盖区域，应以石油码头、运输航道为重要监管区域，加强溢油防范措施监视、监察力度。

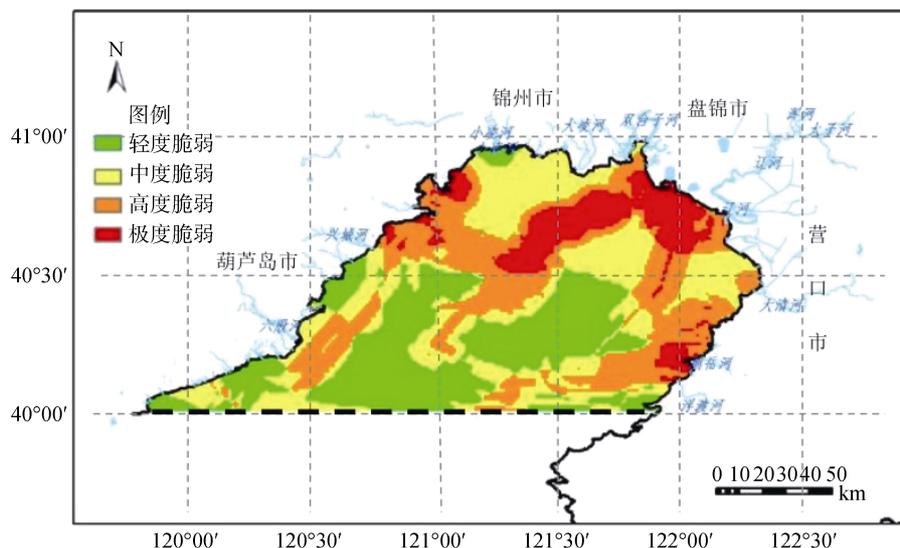


图 7 河口及近岸油污污染风险等级图

Fig. 7 Oil spill levels in estuarine and coastal waters

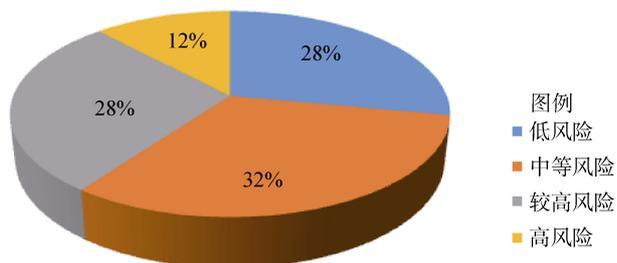


图 8 辽东湾各风险等级面积百分比图

Fig. 8 Area percentages of the risk levels of Liaodong Bay

(2) 结合风险综合评价结果, 可知此河口地区为生态敏感区, 各环境敏感目标及致灾因子可对海域造成较高风险, 当前不仅应加强对环境敏感区域的保护, 还应尽快健全海上环境风险预警和应急机制, 完善环境监测体系, 实现对可能造成溢油事故的风险源有效管理与监控。

参考文献:

[1] 邹和平, 牟林, 崔晓健, 等. 论建立溢油对海洋生态环境污染预警机制的必要性[J]. 海洋开发与管理, 2011, 28(9): 80-83.  
Zou Heping, Mu Lin, Cui Xiaojian, et al. On the necessity of establishing the early warning mechanism of oil spill to marine ecological environment pollution[J]. Ocean Development and Management, 2011, 28(9): 80-83.

[2] 李京梅, 王晓玲. 基于资源等价分析法的海洋溢油生态损害评估模型及应用[J]. 海洋科学, 2012, 36(5): 98-102.  
Li Jingmei, Wang Xiaoling. A model based on the resource equivalency analysis method to evaluate marine ecological damage by oil spill[J]. Marine Sciences, 2012, 36(5): 98-102.

[3] Jack W. Anderson, Richard F. Lee. Use of Biomarkers in Oil Spill Risk Assessment in the marine environment[J]. Human & Ecological Risk Assessment, 2006, 12(6): 1192-1222.

[4] Duarte H O, Droguett E L. Quantitative Ecological Risk Assessment of accidental oil spills on ship routes nearby a marine national park in Brazil[J]. Human & Ecological Risk Assessment, 2015.

[5] Kankara R S, Arockiaraj S, Prabhu K. Environmental sensitivity mapping and risk assessment for oil spill along the Chennai Coast in India[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 106(1-2): 95-103.

[6] 高振会, 杨东方, 刘娜娜. 胶州湾及邻近海域的溢油风险及应急体系[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(11): 88-91.  
Gao Zhen-hui, Yang Dong-fang, Liu Na-na. Oil spill risk and emergency system in Jiaozhou Bay and adjacent waters[J]. Ocean Development and Management, 2009, 26(11): 88-91.

[7] 刘胜. 沿海石油储运溢油风险评价[D]. 大连: 大连海事大学, 2012.  
Liu Sheng. The oil spill risk evaluation of coastal oil storage and transportation[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2012.

[8] 杨阳. 大连新港船舶溢油风险评价及防范系统研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.  
Yang Yang. Research on ship oilspilling risk assessment and prevention measures of Dalian Xin'gang[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011.

[9] 张倩, 柳林, 潘宝玉, 等. 基于模糊综合评判的海洋溢油污染评估模型研究[J]. 海洋科学, 2016, 40(5): 97-102.  
Zhang Qian, Liu Lin, Pan Bao-yu, et al. Marine oil-spill pollution assessment model based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Marine Sciences, 2016, 40(5): 97-102.

- 97-102.
- [10] 张欣, 周林林, 李萌, 等. 辽宁盘锦双台子河口湿地生态环境需水量研究[J]. 水资源保护, 2010, 26(4): 8-12.  
Zhang Xin, Zhou Lin-lin, Li Meng, et al. Eco-environmental water requirement of Shuangtaizi estuarine wetland in Panjin, Liaoning Province[J]. Water Resources Protection, 2010, 26(4): 8-12.
- [11] 马睿. 基于遥感影像对盘锦双台子河口湿地景观生态健康的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.  
Ma Rui. Study on landscape ecological health in Panjin Shuangtaizi estuarine and costal wetland based on remote sensing image[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.
- [12] 余瀚, 王静爱, 柴玫, 等. 灾害链灾情累积放大研究方法进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1498-1511.  
Yu Han, Wang Jin-gai, Chai Mei, et al. Review on research methods of disaster loss accumulation and amplification of disaster chains[J]. Progress in Geography, 2014, 33(11): 1498-1511.
- [13] 孙云潭, 于会娟. 中国海洋灾害应急管理研究[J]. 中国渔业经济, 2010(1): 47-52.  
Sun Yuntan, Yu HuiJuan. Study on emergency of marine disaster in China[J]. Chinese Fisheries Economics, 2010(1): 47-52.
- [14] 张晓霞. 辽宁海洋灾害风险分级及评价方法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.  
Zhang Xiaoxia. Research on Marine Disaster Risk Assessment Method in Liaoning[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [15] 赵跃龙, 张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究[J]. 地理科学进展, 1998, 18(1): 67-72.  
Zhao Yuelong, Zhang Lingjuan. A Study on Index and method of quantitative assessment of fragile environment[J]. Progress in geography, 1998, 18(1): 67-72.
- [16] 马玉艳. 河口浮游动物群落生态健康评价方法及应用[D]. 大连: 大连海事大学, 2008.  
Ma Yuyan. Health assessment methods and application of zooplankton on community in estuary[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2008.
- [17] 王桥, 王文杰, 郑丙辉, 等. 中国西部地区生态环境现状遥感调查[J]. 遥感学报, 2003, 7(6): 490-497.  
Wang Qiao, Wang Wenjie, Zheng Binghui, et al. The Remote Sensing Investigation of Eco-environmental Status in Western China[J]. Journal of remote sensing, 2003, 7(6): 490-497.
- [18] Merritt T. Natural Hazards: Explanation and Integration, by Graham A. Tobin; Burrell E. Montz[M]. Economic Geography, 1999, 75(1): 290-292.
- [19] Pelling M, Maskrey A, Ruiz P. Reducing disaster risk: a challenge for development: a global report[R]. 2004: 30-31.

## Ecological risk assessment of oil spills in coastal waters of Liaodong Bay

WANG Si-yu<sup>1</sup>, TAO Ping<sup>1</sup>, ZONG Yong-jun<sup>2</sup>, SHAO Mi-hua<sup>1</sup>

(1. College of Environmental Science & Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116023, China; 2. Dalian Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116015, China)

**Received:** Nov. 21, 2016

**Key words:** Oil spill; Hazard-bearing body; Hazard-inducing factors; Estuary; Ecological risk

**Abstract:** Using oceanographic survey data from 2014 to 2015 and ArcGIS software as a platform, we selected the related vulnerability factors of hazard-bearing bodies and hazard-inducing factor risks to establish an assessment index system for oil spills in estuaries and coastal waters. We based this system on disaster theory and the analytic hierarchy process. We also established evaluation criteria and an evaluation model for synthetically appraising the study area using superimposed hazard-factor risk and hazard grades. In addition, we performed a systematic analysis, diagnosis, and comprehensive evaluation of the potential environmental impacts of oil spills in the area. The results show that the coastal waters in Liaodong Bay are at high risk and that the protection of environmentally sensitive areas should be strengthened and the environmental monitoring system improved. Finally, important ecologically sensitive wetland areas should be provided for the technical support of the rational allocation of oil spill emergency resources and the implementation of risk decision-making. In addition, a theoretical basis should be established for changing from crisis management to preventive risk management.

(本文编辑: 康亦兼)