

# 山东省海洋自然灾害综合危险性评估研究

高松<sup>1,2</sup>, 钟山<sup>1,2</sup>, 李亚汝<sup>1,2</sup>, 商杰<sup>1,2</sup>, 刘清容<sup>1,2</sup>, 陈胜舰<sup>1,2</sup>, 尚恒帅<sup>3</sup>

(1. 国家海洋局北海预报中心, 山东 青岛 266061; 2. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266061; 3. 山东科技大学, 山东 青岛 266590)

**摘要:** 山东省海洋自然灾害类型多、发生频率高、活动强度大、影响范围广, 研究以山东省 5 种主要海洋自然灾害为评估对象, 依据区域灾害评估系统理论, 基于叠加分析原理建立包括风暴潮、海浪、海冰、海平面上升和海啸等 5 种灾害的海洋自然灾害综合危险性评估体系, 采用层次分析方法确定各灾种的权重系数, 并据此对海洋灾害综合危险进行等级划分。结果表明, 山东省沿海 4 个区县处于高危险区, 6 个区县处于较高危险区, 9 个区县处于中危险区, 17 个区县处于低危险区。本方法克服了单一灾种评估方法的局限性和片面性, 使评估结果更加科学、合理, 且方法可行, 评估结果能够为山东省的海洋经济建设布局、海洋资源开发和规划、海洋防灾减灾等工作提供科学依据。

**关键词:** 海洋自然灾害; 危险性; 综合评估; 山东省

**中图分类号:** P76      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3096(2018)09-0055-09

**DOI:** 10.11759/hyxx20180131001

随着沿海城市的不断发展, 海洋自然灾害造成的经济损失和社会影响也呈现不断增加趋势。开展自然灾害区域规律与区划的研究, 一直是综合减灾研究的重要研究领域, 亦是国际地理科学的前沿问题<sup>[1]</sup>。目前, 国内在自然灾害综合风险评估方法的研究已取得了一定的成果, 并在国家、省、市、县等多个尺度上得到应用<sup>[2-6]</sup>。相比之下, 我国在海洋自然灾害风险评估研究领域起步较晚, 且主要集中在对风暴潮、海冰等单一灾害因子的危险性、脆弱性和风险性评估方面<sup>[7-12]</sup>, 缺乏对海洋自然灾害综合性的评估研究<sup>[13]</sup>。国家海洋局在日本“3.11”地震海啸之后启动了海洋自然灾害风险评估和区划工作, 编制了针风暴潮、海浪、海冰、海啸和海平面上升 5 种海洋自然灾害的风险评估和区划技术导则, 并在全国开展了试点工作。然而, 海洋自然灾害往往以群发、并发、耦发等形式造成许多重大灾害事件, 而单一的灾害风险评估难以表现这些形式。展开海洋自然灾害综合风险评估与区划, 有助于掌握研究区域海洋自然灾害分布活动规律和内在联系, 为制定区域综合减灾防灾战略、进行区域综合与专项规划提供决策依据。而海洋自然灾害综合危险性评估又是海洋自然灾害综合风险性评估的重要内容与基础。

山东省属于海洋灾害多发易发省区, 海洋灾害类型多、发生频率高、活动强度大、分布岸线广。给山东省沿海社会、经济及人民群众生命、财产等造成巨大损失的海洋灾害主要为风暴潮、海浪和海冰, 近 5 年每年造成直接经济损失均达数亿元。仅 2012 年, 风暴潮(近岸浪)灾害造成直接经济损失 31.59 亿元, 海冰灾害造成直接经济损失 1.55 亿元<sup>[14]</sup>。海平面上升虽是缓发性灾害, 但能够加剧风暴潮和海浪灾害, 降低城市抗灾能力。山东省沿海虽未发生过灾害性的海啸事件, 但由于渤海分布有郯庐断裂带和燕渤断裂带, 发生局地地震海啸的可能性仍然不可忽视。因此, 本文以山东省沿海风暴潮、海浪、海冰、海平面上升和海啸等 5 种海洋自然灾害为研究对象, 在单一灾害因子评估和区划方法的基础上, 基于叠加分析原理, 进行山东省海洋自然灾害省级尺度的综合危险性评估与区划研究, 为我国海洋自然灾害综合风险评估研究进行有益的探索。

收稿日期: 2018-01-31; 修回日期: 2018-02-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1402000)

[Foundation: The National Key Research and Development Program of China, No. 2016YFC1402000]

作者简介: 高松(1980-), 男, 辽宁盖州人, 汉族, 高级工程师, 硕士, 从事海洋灾害预测、突发事件应急研究, 电话: 0532-58750655, E-mail: 41267946@qq.com

# 1 研究区概况及数据来源

## 1.1 研究区概况

山东省位于中国东部沿海、黄河下游，山东半岛突出于渤海与黄海之中，同辽东半岛遥相对峙，近

海资源得天独厚，近海海域面积占整个渤海、黄海海域面积的 37%，滩涂面积占全国的 15%，地理为 (114°50'~123°40'E, 34°25'~38°15'N)。山东省沿海包括滨州、东营、潍坊、烟台、威海、青岛、日照七市 35 县区，海岸线长度 3 345 km，占全国海岸线的六分之一，居全国第二位，见图 1。

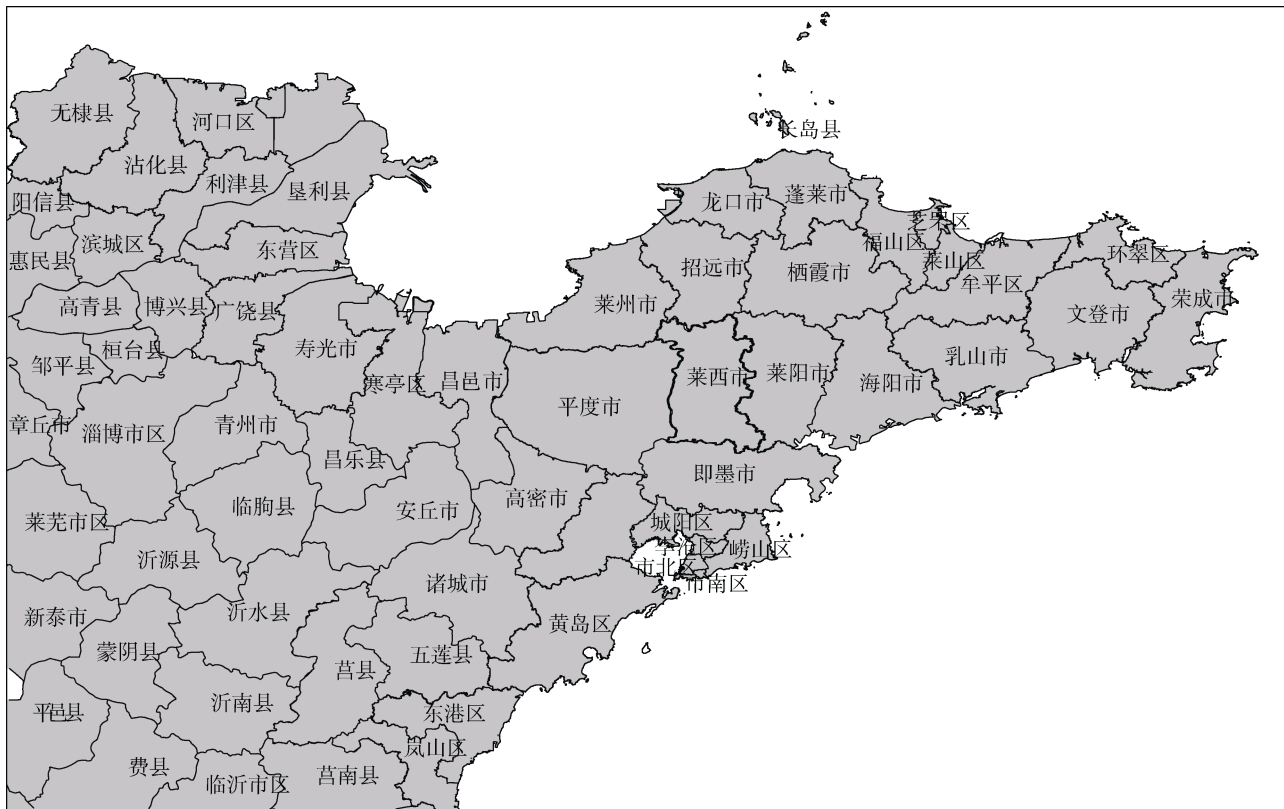


图 1 山东省沿海区县行政区图

Fig. 1 The administrative district map of the coastal district and county of Shandong Province

## 1.2 数据来源

根据历史灾情资料及实地调查，本研究选择了对山东省沿海地区经济社会存在较大影响和潜在影响的风暴潮、海浪、海冰、海啸和海平面上升等 5 种海洋自然灾害进行综合危险性研究。研究所需的各灾种历史灾情资料和相关水文气象资料主要来源于国家海洋局，基础数字线划地图、土地利用现状数据和数字高程数据来源于山东省国土资源厅和山东省测绘局，沿海海堤现状数据来源于现场调查和山东省水利勘测设计院。

害活动规律、灾害强度、灾害活动频次和概率等方面<sup>[15]</sup>。灾害危险性分析精度在很大程度上会影响风险评估结果的可靠性。本文在海洋自然灾害单一灾种评估指标研究的基础上，结合山东省实际灾害情况，从风暴潮、海浪、海冰、海啸和海平面上升等 5 个方面，构建省级尺度的海洋自然灾害综合危险性评估指标体系，如表 1 所示。基本评估单元确定为山东省沿海 35 个县级行政区及所辖海域。

采用叠加分析原理，具体评估模型如公式(1)所示。

$$A = \sum_{i=1}^5 W_i \times B_i \quad (1)$$

式中， $A$  表示海洋自然灾害综合危险性指数； $W_i$  表示第  $i$  个因子的权重系数； $B_i$  表示第  $i$  个因子的指标值。

通过层次分析法确定危险性因子的权重系数  $W_i$ ，

# 2 方法研究

## 2.1 评估指标体系

自然灾害的活动程度即危险性，主要体现在灾

因子层权重计算判断矩阵, 通过山东省海洋灾害预报、评估和防灾减灾方面的 10 名专家独立打分确定。具体方法是根据 5 种海洋灾害对沿海社会、经济影响的重要性程度, 两两进行比较, 以比值的形式表示出这两个灾种的相对重要性程度等级, 形成 5×5 的判断矩阵, 进行各灾种的权重计算<sup>[3]</sup>。

## 2.2 风暴潮危险性指标计算

风暴潮危险性评估综合考虑风暴潮强度和发生频率, 结合山东省目前防潮堤多为 50 年一遇防潮能力的实际情况, 确定采用 50 年一遇水位值作为评估因子, 利用数值模拟方法建构了近 30 年山东省沿岸水位分布数据。具体方法是基于中尺度气象数值预

报模式(The Weather Research and Forecasting Model, WRF)构建渤海高分辨率气压场和风场数据<sup>[16-17]</sup>, 作为风暴潮数值模式驱动场, 利用成熟的风暴潮和天文潮耦合数值模式(The Unstructured Grid Finite Volume Community Ocean Model, FVCOM)<sup>[18-19]</sup>, 模拟渤海及黄海海域风暴潮过程, 计算得到 1 km 分辨率的岸段水位时空场。通过长期验潮站的历史实测水位资料进行验证。基于年极值序列采用极值 I 型分布构建了覆盖山东省岸段的不同重现期水位空间分布。对于每个沿海县区, 采用所辖岸段的最高水位值代表该县区的水位值, 具体值见表 1。再通过归一化方法, 获得沿海县区的风暴潮危险性指数( $B_1$ )(表 2)<sup>[20]</sup>。

表 1 山东省沿海各区县灾害因子代表性指标表  
Tab. 1 Proxy indicators of disaster factors in Shandong Province

沿海市	县(区、市)	50 年一遇 水位值/cm	海浪危险 性指数 $H_w$	冰情要素			海平面年上升 率/(mm/a)	海啸最大 波幅/cm
				严重冰期/d	冰厚/cm	密集度/成		
滨州市	无棣县	301	0.30	25	25	9	2.9	15
	沾化县	301	0.32	25	25	9	2.7	14
东营市	河口区(东)	228	0.45	20	20	9	3.1	60
	河口区(西)	317	0.40	20	20	9	3.1	60
	利津县	317	0.40	20	20	9	2.1	29
	垦利县	369	0.46	20	20	9	3.0	93
	东营区	369	0.30	20	20	6	2.7	29
	广饶县	369	0.28	20	20	6	2.4	22
潍坊市	寿光市	357	0.28	15	15	8	2.4	32
	寒亭区	372	0.29	15	15	9	2.6	65
	昌邑市	354	0.35	15	15	6	2.6	22
烟台市	莱州市	259	0.42	15	15	6	2.2	58
	招远市	218	0.45	5	5	4	1.6	65
	龙口市	240	0.52	5	5	4	2.0	117
	蓬莱市	240	0.52	\	\	\	1.8	104
	长岛县	225	0.6	\	\	\	2.2	10
	福山区	251	0.52	\	\	\	2.3	81
	芝罘区	260	0.55	\	\	\	2.5	70
	莱山区	260	0.55	\	\	\	2.3	43
烟台市	牟平区	265	0.56	\	\	\	2.3	41
	海阳市	279	0.66	\	\	\	2.2	92
	莱阳市	315	0.05	\	\	\	1.8	45
威海市	环翠区	273	0.63	\	\	\	1.7	46
	荣成市	219	0.75	\	\	\	2.0	139
	文登市	297	0.65	\	\	\	1.9	128
	乳山市	287	0.66	\	\	\	2.1	107
青岛市	即墨市	287	0.65	\	\	\	2.6	91
	崂山区	290	0.66	\	\	\	2.1	120

续表

沿海市	县(区、市)	50年一遇 水位值/cm	海浪危险 性指数 $H_w$	冰情要素			海平面年上升 率/(mm/a)	海啸最大 波幅/cm
				严重冰期/d	冰厚/cm	密集度/成		
青岛市	市南区	292	0.66	\	\	\	2.1	100
	市北区	300	0.30	\	\	\	2.1	44
	李沧区	318	0.15	\	\	\	2.1	43
	城阳区	318	0.10	\	\	\	2.4	61
	胶州市	318	0.05	5	5	4	2.0	50
	黄岛区	292	0.65	\	\	\	2.6	108
日照市	东港区	312	0.60	\	\	\	2.8	79
	岚山区	350	0.60	\	\	\	2.6	63

表 2 海洋自然灾害危险性评估指标体系  
Tab. 2 Hazard assessment system for marine disasters

目标层	因子层	权重数( $W$ )	指标层
海洋自然灾害 综合危险性( $A$ )	风暴潮危险性( $B_1$ )	0.45	不同重现期水位值
	海浪危险性( $B_2$ )	0.32	有效波波高 不同等级有效波波高出现次数
	海冰危险性( $B_3$ )	0.13	严重冰期 冰厚 密集度
	海平面上升危险性( $B_4$ )	0.06	海平面上升速率
	海啸危险性( $B_5$ )	0.04	最大波幅

### 2.3 海浪危险性指标计算

海浪危险性评估综合考虑海浪强度和发生次数两个因子,利用数值模拟方法构建了近 30 年山东省海域有效波高分布。具体方法是基于 WRF 构建高分辨率风场数据,作为海浪数值模式驱动场,利用成熟的海浪数值模式(Sea WAVE simulation Nearshore, SWAN),模拟渤海及黄海海域海浪过程,计算得到 1 km 分辨率的有效波高时空场。参照表 3 进行近岸海浪强度等级划分<sup>[21]</sup>。

表 3 近岸海浪强度等级划分标准  
Tab. 3 Classification criteria for the intensity of coastal waves

海浪强度等级	有效波高 $H_s$ /m
I 级	$4.0 \leq H_s < 6.0$
II 级	$2.5 \leq H_s < 4.0$
III 级	$1.3 \leq H_s < 2.5$
IV 级	$0 \leq H_s < 1.3$

基于海浪模拟结果,分别计算每个岸段上 I、II、III、IV 级浪高的年平均出现次数。根据公式(2)计算各点的海浪灾害危险指标。其中海浪灾害危险

指标  $H_w$  如下计算:

$$H_w = 0.6N_1 + 0.25N_2 + 0.1N_3 + 0.05N_4 \quad (2)$$

式中,  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$  分别为 I、II、III、IV 级浪高的年平均出现次数。 $H_w$  具体值见表 4。并通过归一化方法,获得山东省沿海 1 km 分辨率的海浪危险性指数。对于每个沿海县区,采用所辖岸段的海浪危险性指数等级最高者代表该县区的海浪危险性指数( $B_2$ )(表 2)。

### 2.4 海冰危险性指标计算

海冰危险性评估综合考虑冰厚、冰期以及密集度等三个因子,参照表 4 进行海冰危险性等级划分和危险性指数( $B_3$ )的确定,具体值见表 4<sup>[22-23]</sup>。本文海冰历史数据,主要采用国家海洋局北海分局开展的陆岸、航空、卫星遥感、船舶、雷达等各类冰情监测资料。

### 2.5 海平面上升危险性指标计算

海平面上升危险性评估选择海平面年上升速率作为评估因子。采用随机动态模型进行山东省沿海区县代表站的海平面年上升率计算<sup>[24]</sup>,并通过归一化方法,获得山东省沿海区县的海平面上升危险性指数( $B_4$ )(表 2)。

表 4 海冰危险性等级划分标准

Tab. 4 Classification criteria for the risk level of sea ice

海冰危险等级	冰情要素特征	危险性指标( $B_3$ )
I (高)	严重冰期 > 35d, 或海冰厚度 > 35cm, 或海冰密集度 > 8 成	1
II (较高)	35d ≥ 严重冰期 > 25d, 或 35cm ≥ 海冰厚度 > 25cm, 或 8 成 ≥ 海冰密集度 > 6 成	0.5
III (一般)	25d ≥ 严重冰期 > 10d, 或 25cm ≥ 海冰厚度 > 10cm, 或 6 成 ≥ 海冰密集度 > 4 成	0.3
IV (较低)	10d ≥ 严重冰期 > 5d, 或 10cm ≥ 海冰厚度 > 5cm, 或 4 成 ≥ 海冰密集度 > 2 成	0.2
V (低)	严重冰期 ≤ 5d, 或海冰厚度 ≤ 5cm, 或海冰密集度 ≤ 2 成	0.1

### 2.6 海啸危险性指标计算

海啸危险性评估考虑到海啸发生的极端性, 确定最大可能海啸波高作为评估因子。通过对海底地震活动时空特征分析, 确定潜在海啸源位置和可能最大震级, 利用目前广泛应用的海啸数值模式(The Cornell Multi-grid COupled Tsunami numerical model, COMCOT)建构山东省沿海海啸波分布<sup>[25]</sup>, 对于每个沿海县区, 采用所辖岸段的最大海啸波高代表该县区的海啸波高, 再通过归一化方法, 获得各县区海啸危险性指数( $B_3$ )(表 2)<sup>[26]</sup>。

## 3 结果与分析

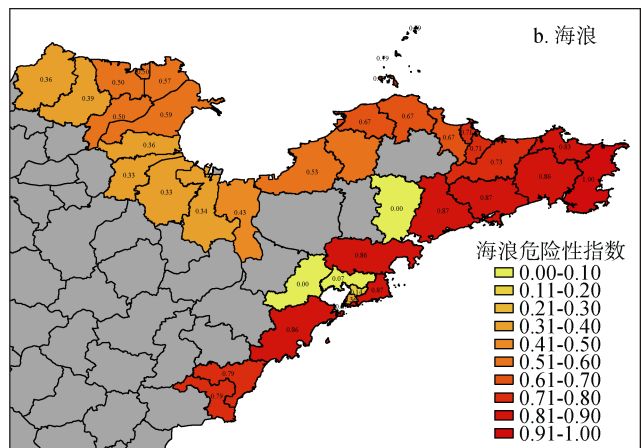
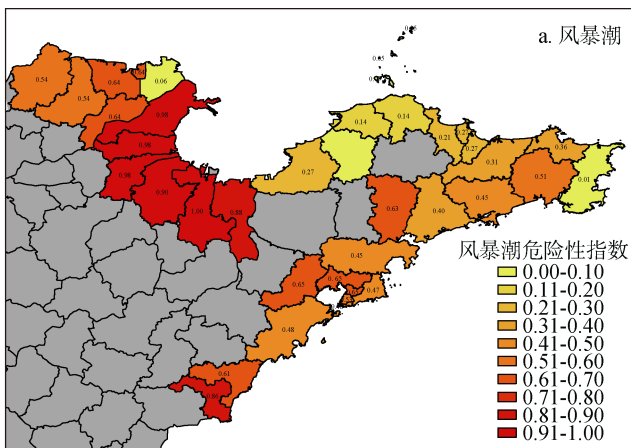
基于本文建立的综合危险性评估指标系统, 分别得到山东省沿海各县区的 5 个主要海洋自然灾害单因子危险性指数和综合危险性指数分布(图 2)。并以综合危险性指数变化较大的位置进行等级划分, 将综合危险性指数划分为 4 个等级, 分别为低危险(0~0.4)、中危险(0.4~0.6)、较高危险(0.6~0.7)和高危险(0.7~1), 以更清晰分类出各县危险度高低等级。由此得到山东省沿海区县综合危险性等级分布(图 3)。表 5 统计了山东省沿海区县综合危险性等级, 结果表明山东省沿海 4 个区县处于高危险区, 6 个区县处于较高危险区, 9 个区县处于中危险区, 17 个区县处

于低危险区。

高和较高综合危险区主要分布在黄河口至莱州湾底部的河口区(西)、利津县、垦利县、东营区、广饶县、寿光市、寒亭区和昌邑市, 以及日照市的东港区和岚山区。其中, 黄河口至莱州湾底部的各区县主要受风暴潮、海冰和海平面上升灾害影响, 海浪灾害次之。日照市各区县主要受风暴潮、海浪和海平面上升灾害影响, 海啸灾害次之。

中综合危险区主要为滨州市的无棣县和沾化县, 以及山东半岛南岸的登市、乳山市、海阳市、即墨市、崂山区、市南区和黄岛区。其中, 滨州市主要受海冰和海平面上升灾害影响, 风暴潮和海浪灾害次之。山东半岛南岸各区县, 主要受海浪、风暴潮和海啸灾害影响, 海平面上升灾害次之。

低综合危险区主要分布在河口区(东)、莱州湾东侧至成山岸段(包括: 莱州市、招远市、龙口市、蓬莱市、长岛县、福山区、芝罘区、莱山区、环翠区、荣成市), 以及胶州湾内的市北区、李沧区、城阳区、胶州市和丁字湾内的莱阳市。其中, 河口区(东)主要受海冰和海平面上升灾害影响, 海浪灾害次之; 莱州湾东侧至成山岸段主要受海浪灾害影响, 局部区域受到海啸和海平面上升灾害影响; 胶州湾和丁字湾内区县主要受风暴潮灾害影响。



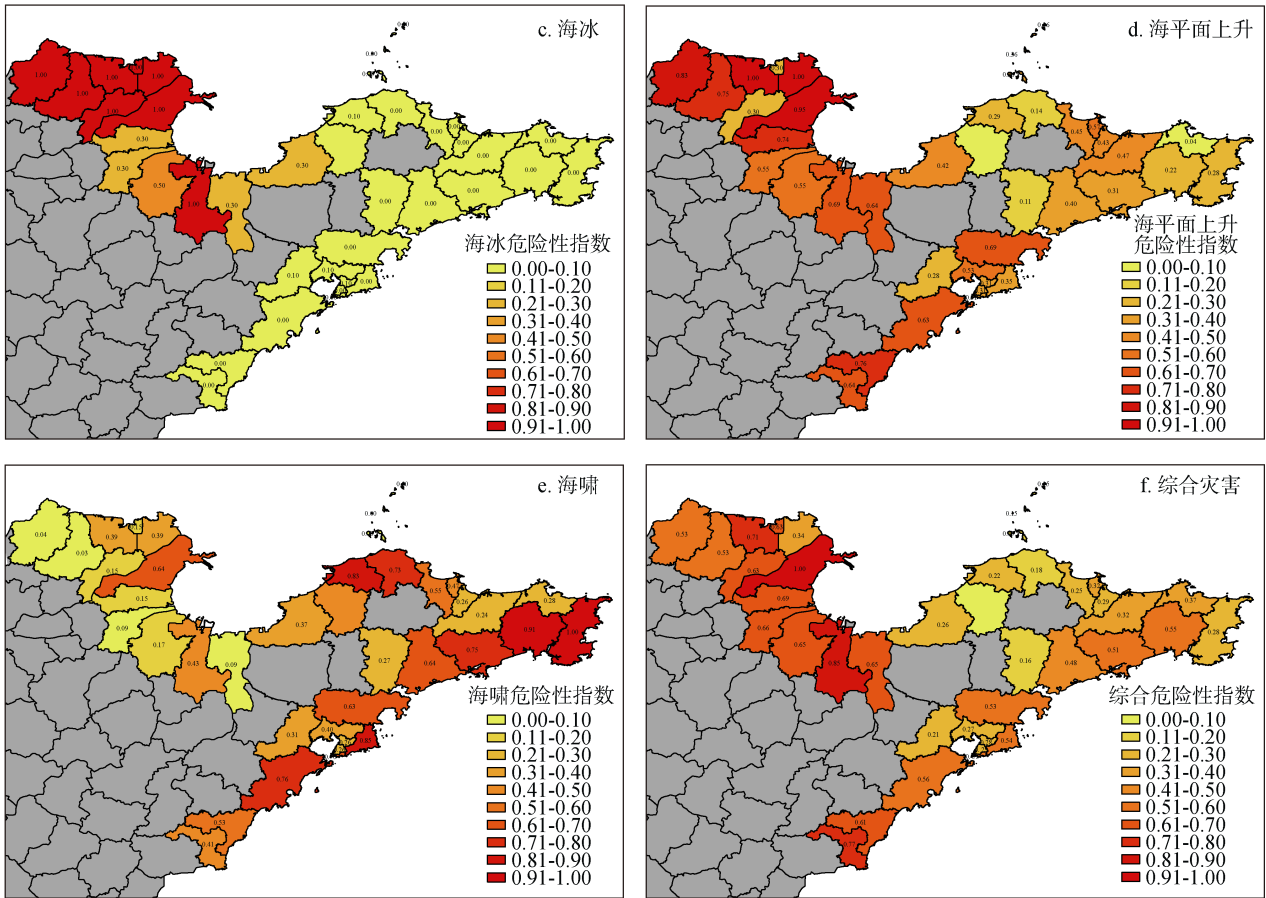


图 2 山东省单灾种危险性指数分布与综合危险指数分布图

Fig. 2 Single disaster species and comprehensive hazard index distribution map of in Shandong Province

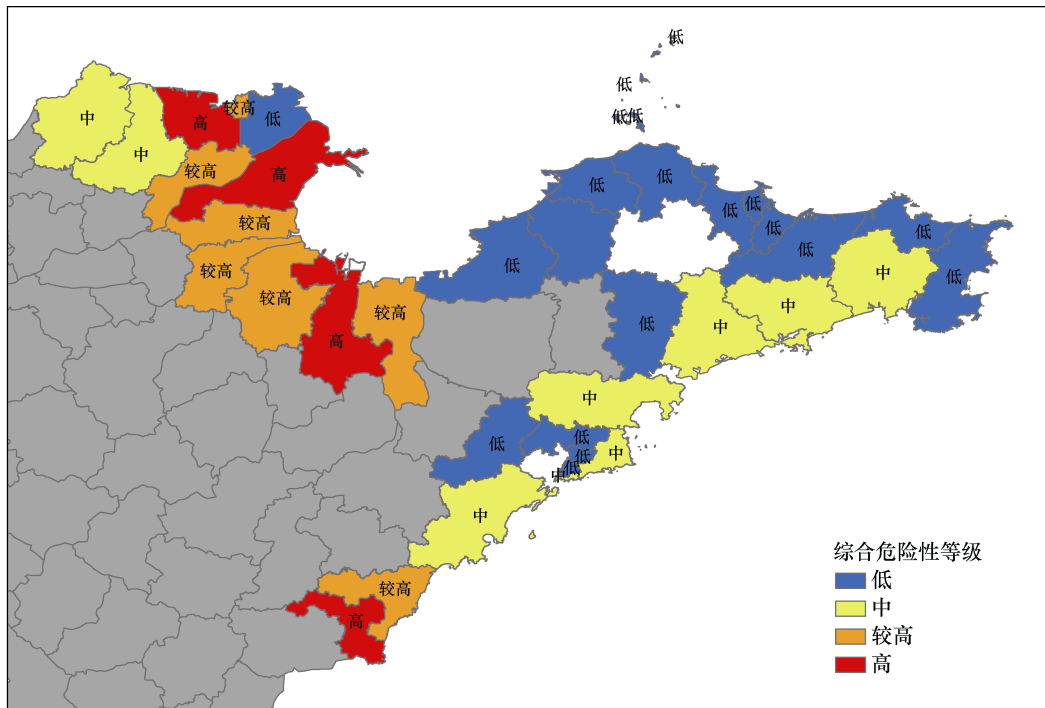


图 3 山东省海洋自然灾害综合危险性区划图

Fig. 3 Comprehensive hazard zoning map of marine natural disasters in Shandong Province

表 5 山东省沿海各区县单因子和综合危险性指数表

Tab. 5 Risk indexing for individual marine disasters and the overall risk level of counties and districts in Shandong Province

评估单元		单因子危险性指数					综合危险性	综合危险性
沿海市	县(区、市)	风暴潮	海浪	海冰	海平面上升	海啸	指数	等级
滨州市	无棣县	0.54	0.36	1.00	0.83	0.04	0.53	中
	沾化县	0.54	0.39	1.00	0.75	0.03	0.53	中
东营市	河口区(东)	0.06	0.57	1.00	1.00	0.39	0.34	低
	河口区(西)	0.64	0.50	1.00	1.00	0.39	0.71	高
	利津县	0.64	0.50	1.00	0.30	0.15	0.63	较高
	垦利县	0.98	0.59	1.00	0.95	0.64	1.00	高
	东营区	0.98	0.36	0.30	0.74	0.15	0.69	较高
	广饶县	0.98	0.33	0.30	0.55	0.09	0.66	较高
潍坊市	寿光市	0.90	0.33	0.50	0.55	0.17	0.65	较高
	寒亭区	1.00	0.34	1.00	0.69	0.43	0.85	高
	昌邑市	0.88	0.43	0.30	0.64	0.09	0.65	较高
烟台市	莱州市	0.27	0.53	0.30	0.42	0.37	0.26	低
	招远市	0.00	0.57	0.10	0.00	0.43	0.02	低
	龙口市	0.14	0.67	0.10	0.29	0.83	0.22	低
	蓬莱市	0.14	0.67	0.00	0.14	0.73	0.18	低
	长岛县	0.05	0.79	0.00	0.36	0.00	0.15	低
	福山区	0.21	0.67	0.00	0.45	0.55	0.25	低
	芝罘区	0.27	0.71	0.00	0.57	0.47	0.32	低
	莱山区	0.27	0.71	0.00	0.43	0.26	0.29	低
	牟平区	0.31	0.73	0.00	0.47	0.24	0.32	低
	海阳市	0.40	0.87	0.00	0.40	0.64	0.48	中
	莱阳市	0.63	0.00	0.00	0.11	0.27	0.16	低
威海市	环翠区	0.36	0.83	0.00	0.04	0.28	0.37	低
	荣成市	0.01	1.00	0.00	0.28	1.00	0.28	低
	文登市	0.51	0.86	0.00	0.22	0.91	0.55	中
	乳山市	0.45	0.87	0.00	0.31	0.75	0.51	中
青岛市	即墨市	0.45	0.86	0.00	0.69	0.63	0.53	中
	崂山区	0.47	0.87	0.00	0.35	0.85	0.54	中
	市南区	0.48	0.87	0.00	0.31	0.70	0.53	中
	市北区	0.53	0.36	0.00	0.31	0.26	0.29	低
	李沧区	0.65	0.14	0.10	0.31	0.26	0.28	低
	城阳区	0.65	0.07	0.10	0.53	0.40	0.27	低
	胶州市	0.65	0.00	0.10	0.28	0.31	0.21	低
	黄岛区	0.48	0.86	0.00	0.63	0.76	0.56	中
日照市	东港区	0.61	0.79	0.00	0.76	0.53	0.61	较高
	岚山区	0.86	0.79	0.00	0.64	0.41	0.77	高

#### 4 结论与讨论

本文基于叠加分析原理建立包括风暴潮、海浪、

海冰、海平面上升和海啸等 5 种灾害的海洋自然灾害综合危险性省尺度评估体系,采用层次分析方法确定各灾种的权重系数,并据此对海洋灾害综合危

险进行等级划分。该方法克服了单一灾种评估方法的局限性和片面性,使评估结果更加科学、合理,且方法可行。从山东省的评估结果来看,评估区划结果比较真实地揭示了5种海洋自然灾害对山东省沿海区县综合影响程度的分布,能够为山东省的海洋经济建设布局、海洋资源开发和规划、海洋防灾减灾等工作提供科学依据。

应当指出,本文的评估方法将评估单元确定为县级行政区,为各类指标值的获取,特别是进一步开展风险性评估提供了便利。但容易出现因县级行政区所辖海域和岸线范围内自然灾害的特征属性差别较大,而导致评估结果偏离实际的情况。下一步还需通过开展市县尺度的综合危险性评价研究,进一步细化评估单元,提高区划成果的科学性。

参考文献:

[1] 史培军,王季薇,张钢锋,等. 透视中国自然灾害区域分异规律与区划研究[J]. 地理研究, 2017, 36(8): 1401-1414.  
Shi P J, Wang J W, Zhang G F, et al. Research review and prospects of natural disasters regionalization in China[J]. Geographical Research, 2017, 36(8): 1401-1414..

[2] 王慧彦,薛辉. 县域自然灾害综合风险区划图编制——以滦县为例[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 84-90.  
Wang H Y, Xu H. Drawing of natural disaster comprehensive risk zoning map for county regions: a case study of Luanxian County[J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(3): 84-90.

[3] 殷杰,尹占娥,许世远. 上海市灾害综合风险定量评估研究[J]. 地理科学, 2009, 29(3): 450-454.  
Yin J, Yin Z E, Xu S Y. Urban-disasters composite risk assessment of Shanghai[J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(3): 450-454.

[4] 盖程程,翁文国,袁宏永. 基于GIS的多灾种耦合综合风险评估[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011, 51(5): 627-631.  
Gai C C, Wen W G, Yuan H Y. Multi-hazard risk assessment using GIS in urban areas[J]. Journal of Tsinghua University, 2011, 51(5): 627-631.

[5] 于欢,孔博,陶和平,等. 四川省自然灾害危险度综合评价与区划[J]. 地球与环境, 2012, 40(3): 397-404.  
Yu H, Kong B, Tao H P, et al. Assessment and regionalization of natural hazard risk probability in Sichuan Province[J]. Earth & Environment, 2012, 40(3): 397-404.

[6] 赵志军,徐刚,白基恒,等. 重庆市自然灾害综合区划研究[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 194-198.  
Zhao Z J, Xu G, Bai J H, et al. Study of comprehensive regionalization of natural disasters in Chongqing[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 194-198.

[7] 游珍,蒋庆丰. 基于江苏沿海风暴潮风险区划的土地

利用防灾规划研究[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(6): 254-258.  
You Z, Jiang Q F. On land use disaster prevention planning based on the storm-hitting risk regionalization in Jiangsu coastal line areas[J]. Journal of Safety & Environment, 2013, 13(6): 254-258.

[8] 石先武,国志兴,张尧,等. 风暴潮灾害脆弱性研究综述[J]. 地理科学进展, 2016, 35(7): 889-897.  
Shi X W, Guo Z X, Zhang Y, et al. A review of research on vulnerability to storm surges[J]. Progress in Geography, 2016, 35(7): 889-897.

[9] 石先武,国志兴,林国斌,等. 河北省风暴潮灾害风险评估研究[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 85-89.  
Shi X W, Guo Z X, Lin G B, et al. Research on storm surge risk assessment in Hebei Province[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 85-89.

[10] 于良巨,施平,侯西勇,等. 风暴潮灾害风险的精细化评估研究[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(1): 41-47.  
Yu L J, Shi P, Hou X Y, et al. Research on fine assessment of storm surge disaster risk[J]. Journal of Natural Disasters, 2017, 26(1): 41-47.

[11] 袁本坤,郭可彩,商杰,等. 河北省海冰灾害风险评估和区划研究[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(1): 117-120.  
Yuan B K, Guo K C, Shang J, et al. Study on the risk assessment and zoning of sea ice disaster in Hebei Province[J]. Ocean Development & Management, 2016, 33(1): 117-120.

[12] 李响,刘克修,董军兴,等. 中国沿海海平面上升风险区划方法研究[J]. 海洋预报, 2014, 31(2): 41-49.  
Li X, Liu K X, Dong J X, et al. Research on the risk zoning method of sea level rise in China[J]. Marine Forecasts, 2014, 31(2): 41-49.

[13] 刘冰,刘强. 基于组合评价法的海洋灾害综合风险评估——以山东沿海地区为例[J]. 中国渔业经济, 2017, 2: 96-104.  
Liu B, Liu Q. The evaluation of marine disaster comprehensive risk based on combination evaluation method: case of coastal cities in Shandong province[J]. Chinese Fisheries Economics, 2017, 2: 96-104.

[14] 国家海洋局. 2012年中国海洋灾害公报[EB/OL]. [http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/201303/t20130306\\_24219.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/201303/t20130306_24219.html), 2012-03-06.  
State Oceanic Administration. 2012 China Marine Disaster Bulletin[EB/OL]. [http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/201303/t20130306\\_24219.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/201303/t20130306_24219.html), 2012-03-06.

[15] 王军,叶明武,李响,等. 城市自然灾害风险评估与应急响应方法研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013.  
Wang J, Ye M W, Li X, et al. Study on the Methods of Risk Assessment and Emergency Response of Urban Natural Harards[M]. Beijing: Science Press, 2013.

[16] 王晓君,马浩. 新一代中尺度预报模式(WRF)国内应用进展[J]. 地球科学进展, 2011, 26(11): 1191-1199.  
Wang X J, Ma H. Progress of application of the Weather Research and Forecast (WRF) model in China[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(11): 1191-1199.

[17] Skamarock W C, Klemp J B, Dudhia J, et al. A Des-



- cription of the Advanced Research WRF Version 3[R]. Boulder: Mesoscale and Microscale Meteorology Laboratory, National Center for Atmospheric Research, 2014.
- [18] 吴玲娟, 高松, 刘爱超, 等. 山东省海洋灾害观测预警系统[J]. 防灾科技学院学报, 2015, 2: 61-69.  
Wu L J, Gao S, Liu A C, et al. Operational system of monitoring, forecasting and warning on marine disaster for Shandong Province[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2015, 2: 61-69.
- [19] Gao S, Zhong S, Lian X, et al. On the risk assessment of storm surge disasters in the coastal areas of Qingdao[C]//Meeting of Risk Analysis Council of China Association for Disaster Prevention, 2016.
- [20] 国家海洋局. 风暴潮灾害风险评估和区划技术导则[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/a8b66c61974bcf84b9d528ea81c758f5f71f2924.html>, 2018-08-16.  
State Oceanic Administration. Guideline for risk assessment and zoning of storm surge disaster[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/a8b66c61974bcf84b9d528ea81c758f5f71f2924.html>, 2018-08-16.
- [21] 国家海洋局. 海浪灾害风险评估和区划技术导则[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-1471348867.html>, 2016.  
State Oceanic Administration. Guideline for risk assessment and zoning of wave disaster[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-1471348867.html>, 2016.
- [22] 袁本坤, 曹丛华, 江崇波, 等. 我国海冰灾害风险评估和区划研究[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 42-46.  
Yuan B K, Cao C H, Jiang C B, et al. A study on risk assessment and zoning of sea ice disaster in China[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 42-46.
- [23] 国家海洋局. 海冰灾害风险评估和区划技术导则[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/cdea410676a20029bc642d3a.html>, 2016-01-25.  
State Oceanic Administration. Guideline for risk assessment and zoning of sea ice disaster[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/cdea410676a20029bc642d3a.html>, 2016-01-25.
- [24] 李响, 刘克修, 董军兴, 等. 中国沿海海平面上升风险区划方法研究[J]. 海洋预报, 2014, 31(2): 41-49.  
Li X, Liu K X, Dong J X, et al. Research on the risk zoning method of sea level rise in China[J]. Marine Forecasts, 2014, 31(2): 41-49.
- [25] Feng X, Yin B, Gao S, et al. Assessment of tsunami hazard for coastal areas of Shandong Province, China[J]. Applied Ocean Research, 2017, 62: 37-48.
- [26] 国家海洋局. 海啸灾害风险评估和区划技术导则[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-1440293201.html>, 2016.  
State Oceanic Administration. Guideline for risk assessment and zoning of tsunami disaster[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-1440293201.html>, 2016.

## A comprehensive study on the hazard assessment of marine disasters in Shandong Province

GAO Song<sup>1, 2</sup>, ZHONG Shan<sup>1, 2</sup>, LI Ya-ru<sup>1, 2</sup>, SHANG Jie<sup>1, 2</sup>, LIU Qing-rong<sup>1, 2</sup>, CHEN Sheng-jian<sup>1, 2</sup>, SHANG Heng-shuai<sup>3</sup>

(1. North Sea Marine Forecast Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao 266061, China; 3. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Received: Jan. 13, 2018

Key words: marine disasters; hazards; comprehensive assessments; Shandong Province

**Abstract:** Based on the regional disaster assessment system theory, a comprehensive hazard assessment system targeted at five marine disasters—storm surges, waves, sea ice, rising sea levels and tsunami—was formed based on the following principle of superposition analysis. Weighting coefficients for each of these marine disasters were obtained by analytical hierarchy process, based on which the risk of marine disasters were classified. The results indicate that three counties/districts in Shandong Province are high-risks areas, seven are relatively high-risks areas, nine of medium risks, and 17 of low risks. This method overcomes the shortcomings and limitations of assessments for a single disaster, and it also makes the assessment results more scientific, rational and feasible, thus, this method provides scientific support for the development and layout of the marine economy, marine resource development and planning as well as marine disaster prevention and mitigation in Shandong Province.

(本文编辑: 李晓燕)