

## A Study on Risk Assessment and Zoning of Sea Ice Disaster in Shandong Province

Benkun Yuan, Jie Shang, Shan Zhong, Qingrong Liu, Ge Li, Yan Jiao, Chengqing Ruan

North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

### 山东省海冰灾害风险评估和区划研究

袁本坤, 商杰, 钟山, 刘清容, 黎炯, 焦艳, 阮成卿

国家海洋局北海预报中心, 青岛 266061, 中国

#### Abstract

Sea ice disaster is one of the main marine disasters in Shandong province. To carry out risk assessment and zoning of sea ice disaster is helpful to guide the coastal governments at all levels to formulate and optimize the decision-making of sea ice disaster prevention and mitigation. Through selecting the sea ice thickness, density, period and all kinds of disaster bearing body density and scale as the evaluation index, the coastal county administrative region under the jurisdiction of Shandong Province as the basic evaluation unit area, a comprehensive assessment of sea ice disaster risk in Shandong province is carry out by using the weight analysis method etc. in this paper. On this basis, the risk of sea ice disaster in Shandong province is classified in spatial regions combined with the actual needs of the disaster prevention and mitigation of sea ice. And the risk grade distribution map is also drawn. The result reveals the distribution of sea ice disaster risk in Shandong Province more truly. It may provide a basis for the risk management of sea ice disaster in Shandong province.

**Keywords:** risk-prevention Shandong province; sea ice disaster; risk assessment and zoning; hazard factor; weight analysis; ice condition; disaster bearing body

#### 摘要

海冰灾害是山东省的主要海洋灾害之一。开展海冰灾害风险评估和区划,有助于指导结冰海区沿岸各级政府制定和优化海冰防灾减灾决策,以最大程度减轻海冰灾害造成的损失。本文选取冰厚、密集度及冰期和各类承灾体密度、规模等作为评估指标,将山东省沿海县级行政区所辖海域作为基本评估单元,利用权重分析等方法,对山东省的海冰灾害风险进行综合评估。在此基础上,结合海冰防灾减灾的实际需求对山东省的海冰灾害风险进行空间区域的等级划分,并绘制风险等级分布图。所得结果较为真实地揭示了海冰灾害风险在山东省所辖海域的分布状况,可为山东省的海冰灾害风险管理等提供依据。

**关键词:** 山东省; 海冰灾害; 风险评估和区划; 致灾因子; 权重分析; 冰情; 承灾体

#### 1. 引言

受地理位置和气象条件影响,山东省所辖海域尤其是北部的渤海湾及莱州湾海域每年冬季都有不同程度的结冰现象[1]。海冰对海上交通运输、海洋(岸)工程设施、海水养殖以及渔业生产等均有不同程度的影响[2],并会造成损失。其中,仅2009/2010年冬季,山东省因海冰造成的直接经济损失就高达26.76亿元[3]。因此,海冰灾害是山东省的主要海洋灾害之一。多年来,山东省及沿海地区各级政府高度重视海冰防灾减灾工作,采取各种措施预防和减轻海冰灾害造成的损失,并取得一定成效。但是,由于缺乏科学有效的海冰灾害风险评估和区划成果作为依据,不仅影响

了防灾减灾效果，也不同程度地造成了灾害应对成本的增加和行政资源的浪费。因此，要使海冰防灾减灾工作科学、有效，必须对海冰灾害风险进行评估和区划。

包括海冰灾害在内的自然灾害风险评估目前尚无较为成熟的技术方法[4]。本文从山东省所辖海域历年冰情监测资料和承灾体实际状况出发，通过建立海冰灾害致灾因子指标体系，利用权重分析等方法[5]，对山东省所辖海域的海冰灾害风险进行综合评估和区划，得到较为符合山东省海冰防灾减灾实际需求的评估和区划结果。

## 2. 资料来源与时限

本文所用资料包括冰情和承灾体两大类。冰情资料主要为国家海洋局北海分局历年对山东省所辖海域进行的海冰监测数据；承灾体资料则由山东省各级海洋主管部门提供。

资料截止时间为 2014 年末。

## 3. 评估和区划方法

### 3.1 评估指标和评估单元选取

自然灾害系统中的灾害被称为致灾因子[6]。根据我国海冰灾害特点[7]，结合海冰灾害孕灾环境[8]及致灾原因[9, 10]分析，海冰灾害致灾因子主要为冰情和承灾体。因此，山东省海冰灾害风险评估指标主要选取冰情（即自然致灾因子，下同）和承灾体（即涉海经济社会活动致灾因子，下同）两类致灾因子。冰情因子确定为冰厚、冰期和密集度；承灾体因子则确定为交通运输、海水养殖、海洋（岸）工程和有人居住岛屿。

评估单元确定为县（县级市、区）级行政区所辖海域（12 n mile 以内，下同）。根据 2015 年的统计资料[11]，截止 2013 年末，山东省行政所辖沿海地区共有县级行政区（县、区、市）35 个，分别隶属于 7 个沿海城市。其中，滨州 2 个，东营 5 个，潍坊 3 个，台 11 个，威海 4 个，青岛 8 个，日照 2 个。上述 35 个评估单元中，长岛县周边海域没有结冰现象，不参与评估；利津县行政所辖主体辖区没有海岸线，仅在隶属于该县但远离该县行政辖区主体的刁口乡有约 59km 长的海岸线，且地理上与河口区海岸线重叠。为便于操作，不对其单独进行评估，而是将其与东营市河口区统一参加评估。因此，实际参加评估的评估单元为 33 个，详见表 1。

表 1 各评估单元一览

序 号	评估单元		备注
	所属市	名 称	
1	滨州市	无棣县	
2		沾化县	
3		河口区	
4	东 营 市	垦利县	
5		东营区	
6		广饶县	
7	潍 坊 市	寿光市	
8		寒亭区	含开发区，下同
9		昌乐市	
10	莱 州 市	莱州市	
11		招远市	
12		龙口市	
13	台 市	蓬莱市	
14		福山区	含开发区，下同
15		芝罘区	
16	烟 台 市	莱山区	
17		牟平区	
18		环翠区	
19	威 海 市	荣成市	
20		文登市	
21		乳山市	
22	烟 台 市	海阳市	
23		莱阳市	
24		即墨市	
25	青 岛 市	崂山区	
26		市南区	
27		市北区	
28	岛 市	李沧区	
29		城阳区	
30		胶州市	
31	日 照 市	黄岛区	青西新区，下同
32		东港区	含开发区，下同
33		岚山区	

### 3.2 致灾因子评估指标体系

（1）冰情：选取评估海区多年平均严重冰期、海冰厚度和密集度作为自然致灾因子，并分别按其特征划分为 5 个等级以确定其在海冰灾害风险中的影响大小，建立海冰灾害风险自然致灾因子评估指标体系（见表 2）。若同一评估海区出现不同等级的自然致灾因子，则选取其影响等级最高者。

表 2 冰情致灾因子评估指标体系

影响等级	自然致灾因子特征
I（高）	严重冰期>35d，或 海冰厚度>35cm，或 密集度>8成
II（较高）	35d≥严重冰期>25d，或 35cm≥海冰厚度>25cm，或 8成≥密集度>6成
III（一般）	25d≥严重冰期>10d，或 25cm≥海冰厚度>10cm，或 6成≥密集度>4成
IV（较低）	10d≥严重冰期>5d，或 10cm≥海冰厚度>5cm，或 4成≥密集度>2成
V（低）	严重冰期≤5d，或 海冰厚度≤5cm，或 密集度≤2成

（2）承灾体：将评估海区主要承灾体分为交通运输、海水养殖、海洋（岸）工程（包括核电厂等）以及有人居住岛屿等四大类，并将其作为评估指标，然后对各类承灾体按其规模等的大小确定其风险影响等级，每个指标按 4 个等级划分（见表 3）。若同一评估海区出现不同承灾体，则选取其风险影响等级最高者。将表 2 给出的自然致灾因子等级和表 3 给出的承灾体风险影响因子贡献等级作为评估指标，分别确定两类因子不同等级评估指标的自重权数和系数，计算出各

自的等级权数，形成海冰灾害风险综合评估体系，见表 4。

表 3 承灾体致灾因子评估指标体系

承灾体种类	规 模	影响等级
交 通 运 输	单位长度岸线年均港口吞吐量≥20 万 t/km	I
	单位长度岸线年均港口吞吐量≥10 万 t/km	II
	单位长度岸线年均港口吞吐量≥1 万 t/km	III
	单位长度岸线年均港口吞吐量<1 万 t/km	IV
海 水 养 殖	海水养殖面积比例≥50%	I
	海水养殖面积比例≥30%	II
	海水养殖面积比例≥10%	III
	海水养殖面积比例<10%	IV
海 洋 工 程	工程投资额≥20 亿元或核电厂	I
	工程投资额≥10 亿元	II
	工程投资额≥1 亿元	III
	工程投资额<1 亿元	IV
有 人 居 住 岛 屿	有人居住岛屿人口≥1000 人	I
	有人居住岛屿人口≥500 人	II
	有人居住岛屿人口≥100 人	III
	有人居住岛屿人口<100 人	IV
备 注	a) 单位长度岸线港口吞吐量是指评估单元内港口年吞吐量与海岸线长度之比；b) 海水养殖面积比例是指评估单元内海水养殖面积占其海域总面积的百分比	

表 4 海冰灾害风险综合评估体系

评估指标	影响等级	自重权数	系数	等级权数（代码）
冰 情	I （高）	45	0.6	27（C1）
	II （较高）	25		15（C2）
	III （一般）	15		9（C3）
	IV （较低）	10		6（C4）
	V （低）	5		3（C5）
承灾体	I （高）	50	0.4	20（D1）
	II （较高）	30		12（D2）
	III （一般）	15		6（D3）
	IV （低）	5		2（D4）
备 注	等级权数=自重权数×系数			

3.3 风险评估值确定

根据冰情和承灾体综合影响程度，按表 4 给出的不同代码进行组合并且相乘，其乘积（综合权数值）即为海冰灾害风险评估值（R），

即：

$$R=C_i \times D_j \tag{1}$$

（i=1, 2, 3, 4, 5; j=1, 2, 3, 4）

式中，R 为评估海区的海冰灾害风险评估

值,  $C_i$  为不同级别的自然致灾因子等级权数,  $D_j$  为不同级别承灾体的等级权数。

4. 评估和区划结果与分析

4.1 海冰灾害风险等级划分

目前,我国尚无划分自然灾害风险等级的国家标准。根据国内外最新研究成果,结合山东省海冰灾害风险管理工作现状,将山东省的海冰灾害风险按照高风险(I级)、较高风险(II级)、较低风险(III级)和低风险(IV级)四个等级进行划分,具体划分标准见表5。

表5 海冰灾害风险等级划分标准

风险等级	风险评估值(R)
I级(高风险)	$R \geq 300$
II级(较高风险)	$150 < R < 300$
III级(较低风险)	$40 < R \leq 150$
IV级(低风险)	$R \leq 40$

4.2 海冰灾害风险评估结果

根据冰情与承灾体指标值,按表2~表5以及公式(1)计算出的各个评估单元的海冰灾害风险综合评估值(R)(限于篇幅,各评估单元的冰情和承灾体指标值及其影响等级不在此一一列出),并按表5给出的划分标准确定各个评估单元的海冰灾害风险等级。

考虑到烟台市的蓬莱及其以东段、威海市、青岛市(除胶州湾外)及日照市所辖海域一般年份几乎不出现规模化的结冰现象,即是在冰情严重年份,上述区域也仅在部分河口、浅滩以及本封闭的港湾等近岸区域有少量海冰分布,对沿岸经济社会活动影响甚微。因此,本次风险评估和区划不对这些岸段的所有县级基本评估单元进行逐一评估,而是将其直接确定为最低一级(即IV级)风险区。

山东省各县级评估单元风险评估值及等级详见表6。

4.3 风险等级调整

由于各个评估单元的承灾体属性以及海冰防灾减灾需求不同,其最终风险等级需当结合评估单元典型历史灾害状况和防灾减灾的具体要求综合确定。

胶州湾是山东半岛南岸伸入内陆的一个天然海湾,其地理位置和区位条件十分优越,在经济上、国防上均具有十分重要的战略地位,并对青岛市、山东省的经济社会发展做出

表6 各评估单元风险评估值及等级

序号	评估单元		风险评估值	风险等级
	所属市	名称		
1	滨州市	无棣县	540	I
2		沾化县	540	I
3		河口区	162	II
4	东营市	垦利县	162	II
5		东营区	180	II
6		广饶县	180	II
7	潍坊市	寿光市	300	I
8	潍坊市	寒亭区	300	I
9	潍坊市	昌乐市	108	III
10	烟台市	莱州市	108	III
11		招远市	36	IV
12		龙口市	120	III
13	威海市	蓬莱市	—	IV
14		福山区	—	IV
15		芝罘区	—	IV
16	威海市	莱山区	—	IV
17		牟平区	—	IV
18		环翠区	—	IV
19	日照市	荣成市	—	IV
20		文登市	—	IV
21		乳山市	—	IV
22	烟台市	海阳市	—	IV
23		莱阳市	—	IV
24		即墨市	—	IV
25	青岛市	崂山区	—	IV
26		市南区	—	IV
27		市北区	—	IV
28	青岛市	李沧区	—	IV
29		城阳区	—	IV
30		胶州市	—	IV
31	日照市	黄岛区	—	IV
32		东港区	—	IV
33		岚山区	—	IV

了突出贡献。近年来,随着山东半岛蓝色经济区建设国家战略的实施和青岛西海岸新区获批为国家级新区,依托海洋资源并以海洋产业为支撑的复合性地域经济发展速度必将进一步加快。这使得胶州湾的功能必将更加增强,各类海上经济活动也必将更加频繁,一旦出现严重冰情,其灾害损失程度无疑将大幅提高。因此,尽管胶州湾的冰情相对较轻,但考虑到其在青岛市、山东省乃至全国的经济社会发展中的特殊地位,应适当提高其海冰防灾减灾能力和水平。同时,考虑到胶州湾跨海大桥建成

后，海冰主要集中在大桥以北的李沧区、城阳区和胶州市所辖的海域内。因此，将上述三个县级行政区的综合风险等级由Ⅳ级提高至Ⅲ级。调整后的山东省海冰灾害综合风险等级详见表 7。

4.4 风险等级分析

风险等级结果通过恰当的制图可以表达度量的风险信息[12]。图 1 为根据调整后的最终风险等级绘制的山东省海冰灾害风险等级分布图。



图 1 山东省海冰灾害风险等级分布

山东省所辖海域海冰灾害最高风险等级主要分布在渤海湾沿岸的无棣县、沾化县以及莱州湾南岸的寿光市和寒亭区，其主要原因是这些评估单元的海冰灾害危险性等级和海冰灾害承灾体等级普遍较高所致，也是海冰危险性（冰情）和承灾体相互作用的综合结果。

海冰灾害风险等级分布总体呈现出西高东低、北高南低的特征。这种分布特征比较客观地反映出了海冰灾害风险在山东省所辖沿海县级行政区尺度上的分布状况。

5. 结论与讨论

（1）基于冰情和承灾体两类致灾因子指标体系，利用权重分析等方法对山东省海冰灾害风险进行综合评估，并据此对山东省的海冰灾害风险进行空间区域的等级划分，较为科学、合理与可行。

（2）所得到的区划结果比较真实地揭示了海冰灾害在山东省主要结冰海区的分布状况，可以满足山东省当前海冰防灾减灾的实际需要，也可为山东省结冰海区海洋经济建设布局、海洋资源开发与利用规划以及沿海大型海洋工程建设等提供决策支撑。

表 7 山东省海冰灾害综合风险等级

序 号	评估单元		风险等级
	所属市	县级行政区	
1	滨州市	无棣县	I
2		沾化县	I
3		河口区	II
4	东营市	垦利县	II
5		东营区	II
6		广饶县	II
7	潍坊市	寿光市	I
8		寒亭区	I
9		昌乐市	II
10	烟台市	莱州市	III
11		招远市	IV
12		龙口市	III
13	威海市	蓬莱市	IV
14		福山区	IV
15		芝罘区	IV
16	日照市	莱山区	IV
17		牟平区	IV
18		环翠区	IV
19	威海市	荣成市	IV
20		文登市	IV
21		乳山市	IV
22	烟台市	海阳市	IV
23		莱阳市	IV
24		即墨市	IV
25	青岛市	崂山区	IV
26		市南区	IV
27		市北区	IV
28	日照市	李沧区	III
29		城阳区	III
30		胶州市	III
31	日照市	黄岛区	IV
32		东港区	IV
33		岚山区	IV

（3）将县级行政所辖海域确定为基本评估单元，其优点是便于获取各类指标值尤其是承灾体指标值，但也有不足之处，主要是容易出现因各自所辖海域面积和海岸线差别较大而导致的评估结果与实际状况之间的偏差。这种不足应当结合海冰防灾减灾以及典型海冰灾害案例分析等予以适当调整。

（4）本研究给出的海冰灾害风险评估方法并未考虑各个评估单元的设防水平和防灾减灾能力差异等因素。因此，在海冰防灾减灾实际工作中，应根据山东省主体功能区规划和海洋功能区划所确定的各行政区域的主体功能和产业布局，对结冰海区的相对风险水平进

行宏观评估。在此基础上,针对各类承灾体的不同要求,严格按照国家(或行业)标准和技术规范开展科学有效的海冰防灾减灾工作。

#### Acknowledgements

This study was supported by National Special Fund for Marine Scientific Research in the Public Interest (No.201105016).

#### 致谢

本研究得到了国家海洋公益性行业科研专项(201105016)的资助。

#### 参考文献

- [1] 袁本坤, 江崇波, 李兆新, 等. 山东省海洋灾害特征分析及防御对策探讨. *防灾科技学院学报*, 2012, (1):1-6.
- [2] 白珊, 刘钦政, 李海, 等. 渤海的海冰. *海洋预报*, 1999, (3):1-9.
- [3] 国家海洋局. 《2010 年中国海洋灾害公报》. 国家海洋局, 北京, 2011.
- [4] 高庆华, 马宗晋, 张成业, 等. *自然灾害评估*. 象出版社, 北京, 2007.
- [5] 袁本坤, 曹丛华, 江崇波, 等. 基于致灾因子指标体系的海冰灾害风险评估和区划方法. *防灾科技学院学报*, 2015, (2):8-12.
- [6] 黄崇福. 自然灾害风险分析的基本原理. *自然灾害学报*, 1999, (2):21-30.
- [7] 张方俭, 费立淑. 我国的海冰灾害及其防御. *海洋通报*, 1994, (5):75-83.
- [8] 丁德文等. *工程海冰学概论*. 海洋出版社, 北京, 1999.
- [9] 李志军. 渤海海冰灾害和人类活动之间的关系. *海洋预报*, 2010, (1):8-12.
- [10] 袁本坤, 郭可彩, 王相玉, 等. 我国单因子海冰灾害指标体系及海冰灾害等级划分方法初步探讨. *海洋预报*, 2013, (1):65-70.
- [11] 国家海洋局. *中国海洋统计年鉴——2014*. 海洋出版社, 北京, 2015.
- [12] Chen Y, Yu S Q, Zhang C M, Chai J S. The nature event's probabilistic risk assessment of nuclear power plants with improvements. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 2012, 2(2): 139-145.