

魏铁鑫,李同同,魏 军. 基于 GIS 技术的沧州沿海地区风暴潮灾害承灾体易损性评估[J]. 干旱气象,2018,36(6):1043-1051, [WEI Tiexin, LI Tongtong, WEI Jun. Assessment of Vulnerability of Hazard Bearing Body in Cangzhou Coastal Areas for Storm Surge Disaster Based on GIS Technology [J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(6):1043-1051], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-1043

## 基于 GIS 技术的沧州沿海地区风暴潮 灾害承灾体易损性评估

魏铁鑫<sup>1</sup>,李同同<sup>2</sup>,魏 军<sup>1</sup>

(1. 河北省气象灾害防御中心,河北 石家庄 050000;2. 河北省沧州渤海新区气象局,河北 渤海新区 061100)

**摘 要:**基于 GIS 和 RS 技术,以沧州沿海地区遥感影像,风暴潮灾害灾情特征和社会经济数据为支撑,从自然环境、社会经济、土地利用和防灾减灾能力 4 个方面选取指标,建立风暴潮灾害承灾体易损性评估模型。根据风暴潮的成灾特点和研究区的防灾能力,分情景评估沧州沿海地区风暴潮承灾体易损性。结果表明:黄骅镇、南大港管理区、国营中捷农场、南排河镇、新村回族乡、苏集镇和辛集镇的承灾体易损度达到较高以上等级,其中南排河镇和新村回族乡靠近海岸线,遭受风暴潮的可能性较高,应予以重点关注。其他地区易损度等级则相对较低,其中香坊乡承灾体暴露度较小,防灾能力较强,易损度风险最低。

**关键词:**风暴潮灾害;承灾体易损性;GIS 技术;沧州沿海地区

**文章编号:**1006-7639(2018)06-1043-09 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-1043

**中图分类号:**S429

**文献标志码:**A

### 引 言

近年来,沧州沿海地区经济发展迅速,尤其是随着渤海新区成立,沿海地区的开发程度不断提高,但遭受风暴潮灾害的潜在风险也在增加。在全球变暖背景下,我国风暴潮灾害的次数和强度呈增加趋势<sup>[1]</sup>。2016年《中国海洋公报》指出,在中国各类海洋灾害中,风暴潮灾害造成的直接经济损失最严重,占有海洋灾害造成直接经济损失的92%。面对日益增加的社会经济规模和频繁的风暴潮灾害,对承灾体易损性进行科学研究的需求越发强烈。

1990年代,国外便已开展风暴潮灾害风险研究,形成了一些较为科学有效的评估理论与方法,并在很多沿海城市得到应用<sup>[2]</sup>。相对而言,我国风暴潮灾害风险评估研究起步较晚。傅赐福等<sup>[3]</sup>建立滨海新区风暴潮漫滩数值模式,模拟得到滨海新区不同强度下的温带风暴潮最大淹没范围。殷杰等<sup>[4]</sup>采用洪水数值模型开展台风风暴潮淹没情景模拟。现有研究多侧重于致灾机理<sup>[5]</sup>,较少涉及风暴潮灾害承灾体。但并非每一次风暴潮都能引发灾

害,只有当承灾体对风暴潮灾害的承受能力超出自身水平时,才能形成灾害。有研究通过构建风暴潮承灾体易损性指标体系<sup>[6-8]</sup>,利用平均权重法、层次分析法、主成分分析法等方法,计算承灾体脆弱性指数。这些研究成果在一定程度上促进了风暴潮承灾体易损性的研究进展,但在研究过程中,承灾体的信息获取有一定难度,且越精细的资料,获取难度越大。随着卫星技术的发展,遥感产品的分辨率不断提高,高分辨率的遥感数据能够为承灾体属性特征信息的提取和分析提供助力。综合地理信息技术、遥感技术和 GPS 技术在风险评估领域的应用越来越多<sup>[9-13]</sup>。而承灾体脆弱性的研究具有很强的区域性,区域不同,承灾体类别和表现特征往往不尽相同<sup>[14]</sup>。因此,针对特定的研究区域,有必要建立适合的评价指标体系,结合高分辨率的遥感影像资料,提取承灾体属性特征信息,分析其承灾体易损性分布特征。

本文结合沧州沿海地区的风暴潮灾害的灾情特征、高分辨率遥感资料和社会经济数据,利用 3S 技

收稿日期:2018-04-10;改回日期:2018-09-10

基金项目:河北省气象局面上项目(17ky21)资助

作者简介:魏铁鑫(1986—),男,硕士,工程师,主要从事气象灾害防御及风险评估。E-mail: blueluck510@163.com。

术,构建风暴潮灾害易损性评估指标体系,对沧州沿海地区风暴潮灾害承灾体易损程度开展评估,以期由政府规划设计部门相关决策提供科学参考和依据。

## 1 研究区域概况

沧州市海域位于渤海西部,北起黄骅市南排河镇歧口,与天津市海域交界,南至沧州海兴县大河口,管辖海域面积 95 560  $\text{hm}^2$ ,岸线全长约 92.46 km。在行政区划上,处于黄骅市、渤海新区和海兴县沿海境内。紧邻海岸线的乡镇从北往南,依次是南排河镇、新村回族乡,另外还有海兴县香坊乡东部的部分地区。根据沧州市海洋环境监测站提供的信息,历史上曾发生过风暴潮向内陆侵袭 30 km 的灾害事件,因此,将距离海岸 30 km 范围内的乡镇也纳入到研究区域(图 1)。

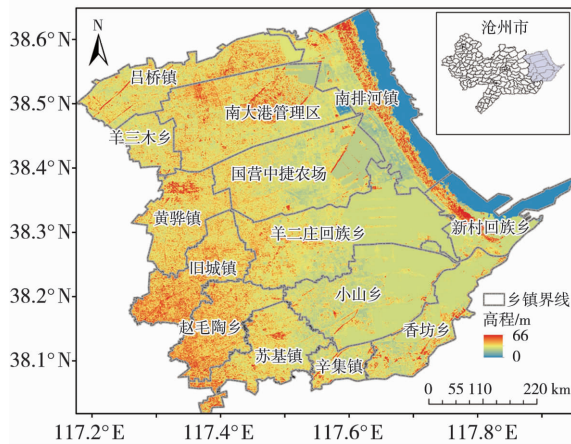


图 1 研究区范围

Fig. 1 The scope of the research area

## 2 资料与方法

### 2.1 资料

所用资料主要有:(1)2015 年沧州市沿海乡镇行政边界、道路、河流等矢量数据,精度为 1:10 万;(2)DEM(digital elevation model)数据,源于 2009 年由日本 METI 和美国 NASA 联合研制的 ASTER GDEM2 数据,其空间分辨率 30 m  $\times$  30 m;(3)2016 年卫星遥感影像,源于 Landsat 卫星数字产品,4/3/2 波段真彩色合成图像,空间分辨率 30 m  $\times$  30 m;(4)社会经济数据,源于 2016 年沧州市经济统计年鉴;(5)风暴潮灾情数据,源于 1989—2016 年国家海洋局《中国海洋灾害公报》和同期渤海新区海洋站的记录;(6)实地调查数据,主要是研究人员持 GPS 采集重要承灾体的经纬度信息。以上数据中,矢量、DEM 和遥感影像数据来源于地理空间数据云

平台。

### 2.2 方法

#### 2.2.1 承灾体易损性评估方法

参考《气象灾害风险评估与区划方法》<sup>[15]</sup>中的定义,将风险载体对灾害的响应程度定义为承灾体易损性,并将其分解为物理暴露、脆弱性和区域防灾减灾能力 3 部分,其表达式为:

$$V_b = E \cdot V_d [\alpha + (1 - \alpha)(1 - C_d)] \quad (1)$$

式中: $V_b$  为标准化后的承灾体易损性; $E$  为承灾体物理暴露度,主要以标准化后的评价指标表征; $V_d$  为承灾体的脆弱性; $C_d$  为区域防灾减灾能力; $\alpha$  为灾害风险中的不可防御部分。

而在评估时常常涉及到多个承灾体,如何得到一个综合性的评价指标?参考已有研究,在得到各承灾体脆弱性的基础上,将标准化后的承灾体暴露度与相应的脆弱性权重相乘,并加权求和,得到风暴潮承灾体综合脆弱性指数,公式为:

$$R = \sum_{i=1}^n E_i \times V_{di} \quad (2)$$

式中: $R$  为承灾体脆弱性指数; $E_i$  为各承灾体暴露度的标准值; $V_{di}$  为第  $i$  种指标的脆弱性权重, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , 为评价指标数量。

由于特定区域内的防灾减灾能力不受多个承灾体影响,则承灾体综合易损性也可表达为:

$$V_b = R \times [\alpha + (1 - \alpha)(1 - C_d)] \quad (3)$$

#### 2.2.2 确定评价因子权重

层次分析法是一种将定性和定量相结合的系统化、层次化的分析方法。层次分析法将要评价的系统分解成若干层次,通过指标间的两两判断、比较,建立判断矩阵,结合判断矩阵的特征向量,求得每层次各元素对上一层次某元素的优先权重,并运用加权和计算最终权重<sup>[16]</sup>。相对于专家评分法(Delphi),可减少主观片面性,系统的、量化地考虑各个指标间的相互关系。计算判断矩阵  $A$  的特征根  $\lambda_{\max}$ ,并由  $\lambda_{\max}$  求解特征根方程:

$$AX = \lambda_{\max} X \quad (4)$$

从而得到  $\lambda_{\max}$  的特征向量  $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ ,将特征向量进行标准化处理,计算各指标权重向量:

$$w = \left\{ \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i}, \frac{x_2}{\sum_{i=1}^n x_i}, \dots, \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \right\} \\ = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\} \quad (5)$$

#### 2.2.3 评价指标栅格化预处理

对于道路、河流和防御设施等线状矢量数据和重点单位、医院等点状矢量数据,采用 ArcGIS 中的

核密度工具(Kernel density),计算其密度分布,其中学校和医院的搜索范围设定为 3 km,河流和道路的搜索半径设置为 1 km。根据道路、河流、学校和医院等级赋予相应的计算权重,然后对计算结果标准化。社会、经济方面的定量数据,以乡镇为最小统计单元,对社会经济类的评价指标进行栅格化、标准化。最终,将评价指标转换为 30 m × 30 m 分辨率的栅格图层。

### 2.2.4 评价指标标准化

指标体系中不同指标数据的单位不同,数量级也相差甚远,不能直接进行运算。因此,在使用指标体系进行风险评估之前,需要将指标值标准化,以消除不同量纲影响,保证原始数据的统一性,使其具有可比性。选用极差标准化法,正、负向指标的原始值采用不同的公式进行标准化,将其数值都压缩在 [0,1] 区间内,去除各指标量纲。

正向指标计算公式:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}} \quad (6)$$

负向指标计算公式:

$$Y_{ij} = \frac{X_{i \max} - X_{ij}}{X_{i \max} - X_{i \min}} \quad (7)$$

式中: $X_{ij}$ 是第  $i$  个评价指标的第  $j$  个评价单元的原始值; $Y_{ij}$ 是第  $i$  个评价指标的第  $j$  个评价单元标准化后的值; $X_{i \max}$ 是第  $i$  个评价指标所有评价单元中的最大值; $X_{i \min}$ 是第  $i$  个评价指标所有评价单元中的最小值; $m$  表示评价指标个数, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $n$  表示评价单元个数, $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

## 3 风暴潮灾害概况

图 2 为 1965—2016 年沧州沿海地区风暴潮月变化。可以看出,沧州沿海共发生 14 次风暴潮,其中台风风暴潮 6 次,温带风暴潮 8 次。历次风暴潮

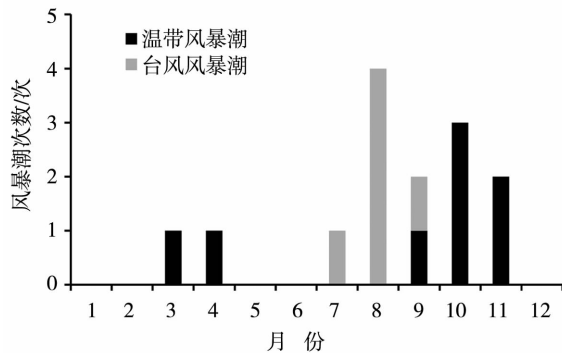


图 2 1965—2016 年沧州沿海地区风暴潮月变化

Fig. 2 The monthly variation of storm surge in coastal areas of Cangzhou during 1965 - 2016

中,1997 年的潮位值最高,达到 595 cm,超警戒水位 125 cm。台风风暴潮主要发生在 7—9 月,8 月最多。温带风暴潮则在 3、4、9、10、11 月均有发生,10 月最多,其次是 11 月。

### 3.1 灾情概况

通过实地走访和查阅文献<sup>[17]</sup>,统计沧州沿海地区风暴潮灾害灾情信息(图 3)。尽管已竭尽所能搜集灾情信息,但历史灾情纪录仍不够详细和完备。因 1972 年 7 月 27 日和 2015 年 11 月 5 日的风暴潮灾害未搜集到灾情信息,故在统计时未予列入。

由图 3 可以看出,1965—2016 年,沧州地区风暴潮灾害导致累计直接经济损失达 14.85 亿元,受灾人口 46.3 万人,其中 2007 年 10 月 22 日的风暴潮造成伤亡 2 人。1997 年 8 月 19 日,9711 号台风移经渤海海域,受其影响渤海沿岸普遍出现特大风暴潮灾害,沧州地区直接经济损失达 3.2 亿元,为历次风暴潮灾害中直接经济损失最大。黄骅港最大增水 2.45 m,最高潮位 5.95 m(水尺零点),达有记录以来最高潮位。1997 年特大风暴潮灾害后,国家投入大量资金对海堤进行修复加固,同时提高海堤标准,部分堤段迎水面进行了护砌。由于防灾设施防护水平的提升,2003 年之后发生的风暴潮灾害的直接经济损失相比 1997 年大幅减少。但是随着沿海经济的迅猛发展,近年来风暴潮灾害导致的直接经济损失略有增加,近 3 次风暴潮灾害的直接经济损失均在 1.5 亿元以上。

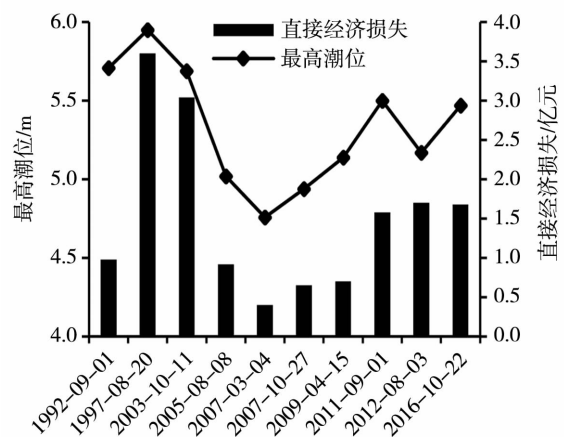


图 3 1965—2016 年沧州沿海地区风暴潮灾害最高潮位和直接经济损失

Fig. 3 The highest tidal level and direct economic loss in the storm surge disasters in the coastal area of Cangzhou during 1965 - 2016

### 3.2 风暴潮成灾特点

结合历次风暴潮灾害的灾情描述和防御现状来

看,大量的成灾区域集中在河口、码头、涵闸的入海口。涌入的海水首先是吞没海堤外的鱼虾养殖池,继续上涨开始威胁堤坝,但是由于堤坝较高,加之多有水泥护坡很难冲垮或是越过,多数情况下,首先被冲毁的是河口防潮闸和未修缮的土堤,大量海水只能顺着溃口继续内侵。而在河流的两岸,则因为海水上溯造成局部淹没灾害。例如 2003 年 10 月 11 日发生的风暴潮潮水入侵主要是通过未修防潮工程的河口、破损的防潮闸及未建成的海堤缺口处等位置侵入内陆,并沿河道上溯漫侵,上侵的距离达 5~20 km(其中海兴段潮水沿章卫新河上溯至香坊乡),局部通过河道两侧的排水沟漫入农田、养殖场等。因此,可将风暴潮灾害的致灾方式概括为:(1)发生溃堤或漫堤向内陆推进;(2)沿河流入海口溯流而上,进而淹没河道两旁地势较低的地区。

## 4 风暴潮承灾体易损性分析

### 4.1 构建承灾体易损性指标体系

由灾情信息可知风暴潮灾害主要对以下承灾体对象产生危害:(1)工程设施及房屋。主要造成航道淤埋,码头受冲击,航标损坏,海防堤坝和涵闸损坏,公路淹没,交通断交,仓储物资受海水浸泡,生产中,房屋受损倒塌等损失;(2)捕捞养殖业。冲毁池塘设施,使养殖产品逃逸或死亡,潮水冲击渔港码

头防波堤,使渔船搁浅损坏,冲破撕坏渔具;(3)晒盐业。造成冲毁盐场、盐池,原盐、卤水损失;(4)农业。淹没农田,加重盐碱化短期无法耕种。以上承灾体的本质可归纳为人类社会对土地不同的利用类型,同时根据已有研究成果<sup>[6-7,18]</sup>,大多数承灾体易损性指标可归纳为自然环境、社会经济、土地利用类型和防灾减灾能力。本文从这 4 个方面,构建沧州沿海地区风暴潮承灾体易损性评估指标集,具体如表 1 所示。

### 4.2 承灾体暴露

#### 4.2.1 自然环境

沧州沿海地区海拔高程呈西高东低分布,向西地势增高幅度逐渐加大,平均坡降 0.4‰,除海兴小山地貌外,大部分地区海拔高度低于 5 m。其地形地貌主要有以下特点:一是古贝壳堤分布于沿海地区,有天然海堤的作用,自北向南均有分布,沿海村庄大多建立在这种天然堤坝上。二是洼淀、水库、湿地、滩涂众多,其地势较低,坡度较小,有利于拦洪蓄水。三是沿海地区开发利用率高,大陆岸线已全部开发,其中渔业利用岸线 61.35%;港口岸线 24.72%;工矿岸线占 13.93%。虽然开发利用率高,但基础性开发较多,抗灾能力有限。四是河流众多,主要有入海河流 15 条,众多的河流成为风暴潮灾害涨水的天然通道。

表 1 沧州沿海地区风暴潮灾害承灾体易损性评估指标集

Tab. 1 Vulnerability assessment indexes sets of storm surge disaster in the coastal area of Cangzhou

目标层	准则层	指标层	趋向	数据来源	
风暴潮承灾体易损性	自然环境	海拔高程	负向	DEM 数据	
		坡度	负向	DEM 数据	
		河网密度	正向	DEM 数据	
	社会经济	人口集聚度	正向	统计年鉴、遥感数据	
		重点单位	正向	统计年鉴、地理信息数据	
		城镇化率	正向	统计年鉴	
	土地利用类型	城镇用地	正向	统计年鉴、遥感数据	
		水产养殖业	正向	统计年鉴、遥感数据	
		晒盐业	正向	统计年鉴、遥感数据	
		农业用地	正向	统计年鉴、遥感数据	
	防灾减灾能力		港口码头	正向	统计年鉴、遥感数据
			……	……	统计年鉴、遥感数据
			单位面积公共财政收入	负向	统计数据
防灾设施			负向	部门数据	
公路			负向	部门数据、遥感数据	
		医院	负向	统计年鉴、地理信息数据	

4.2.2 社会经济

(1)人口集聚度。反映一个地区的人口相对于研究对象区域人口的集聚程度。可以用某地区占研究对象区域面积上集聚人口的比重来表示<sup>[19]</sup>,计算公式如下:

$$JJD_i = \frac{\left(\frac{P_i}{P_n}\right) \times 100\%}{\left(\frac{A_i}{A_n}\right) \times 100\%} = \frac{P_i/A_i}{P_n/A_n} \quad (8)$$

式中:JJD<sub>i</sub>表示某乡镇的人口集聚度;P<sub>i</sub>和P<sub>n</sub>分别表示该乡镇人口和区域总人口;A<sub>i</sub>和A<sub>n</sub>分别表示该乡镇面积和区域总面积,i=1,2,3,⋯,14。

表 2 列出沧州沿海各乡镇的人口集聚度,并按照各乡镇的人口集聚度值和人口集聚度分类标准进行分级。可以看出,沧州沿海各乡镇按人口集聚度可分为 3 类,分别为人口密集地区、人口均值地区和人口密度均下区。其中黄骅镇、苏集镇和辛集镇人口集聚度达 2 以上,属于人口低度密集地区;其他乡镇属于人口均值地区,其中旧城镇和赵毛陶乡属于人口密度均上区,其他乡镇属于人口密度均下区。

表 2 沧州沿海乡镇人口集聚度

Tab.2 The aggregation degree of population of coastal towns in Cangzhou

乡镇名	集聚度	参考集聚度	根据集聚度分类
黄骅镇	2.343	[2,4]	人口低度密集区
苏集镇	2.099		人口低度密集区
辛集镇	2.109		人口低度密集区
旧城镇	1.189	[1,2)	人口密度均上区
赵毛陶乡	1.283		人口密度均上区
国营中捷农场	0.781	[0.5,1)	人口密度均下区
吕桥镇	0.996		人口密度均下区
南大港管理区	0.892		人口密度均下区
南排河镇	0.856		人口密度均下区
香坊乡	0.676		人口密度均下区
小山乡	0.585		人口密度均下区
新村回族乡	0.731		人口密度均下区
羊二庄回族乡	0.538		人口密度均下区
羊三木乡	0.775		人口密度均下区

(2)重点单位。通过实地考察和遥感影像分析,得到沧州沿海地区灾害防御重点单位的分布情况,重点单位主要有人员密集场所、危化企业、学校等。其中人员密集场所 98 处,危化企业 23 家,学校 88 所,

包括小学 57 所、中学 24 所、学院 5 所、大学 2 所。

(3)城镇化率。根据国家统计局关于城镇化率的规定,城镇化率为城镇人口与总人口的比值,据此计算沧州沿海各乡镇的城镇化率(图 4)。可知黄骅镇和 新村回族乡、国营中捷农场、南大港管理区的城镇化率较高,达到 50% 以上,其中黄骅镇达 91.3%,其他乡镇城镇化率较低。

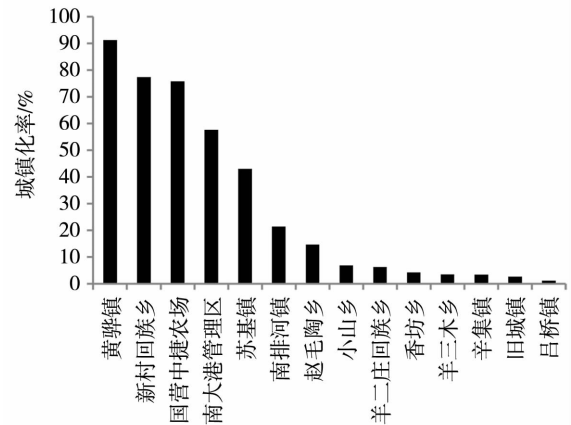


图 4 沧州沿海各乡镇城镇化率  
Fig.4 Urbanization rate of villages and towns in the coastal area of Cangzhou

4.2.3 土地利用类型

基于高分辨率遥感影像,利用 ENVI 软件,采用面向对象的监督分类技术,将沧州沿海地区土地利用类型按照《GB/T201010-2007 土地利用现状分类》进行分类,得到 14 个分类结果(图 5)。经解译分类和实地调查可知,沧州沿海北部的南排河镇的乡镇村庄南北向分布,其东西两侧多为水塘,经考察发现其大部分为海产品养殖池。南部为港城区和黄骅港,多为厂房和港口用地。其西面的临港经济技术开发区多为工业用地,厂房林立,间有水塘和晒盐池。城市用地主要集中在港城区、黄骅镇北部、南大港管理区西部、国营中捷农场西部、苏集镇中部。田地分布在中、西部,其间分布着乡镇村庄。

图 6 为分别统计各乡镇范围内各土地利用类型所占比例。可以看出,除紧邻海岸新村回族乡和南排河镇以外,其他乡镇的主要土地类型为旱地,所占比例都在 30% 以上,辛集镇、苏集镇、赵毛陶乡和旧城镇的旱地面积占比达 80% 以上。黄骅镇和国营中捷农场的城市用地占比在各乡镇中最高,分别为 43.9%,17.6%。临海的新村回族乡,32% 的土地利用类型是港口码头用地,26.7% 的土地利用类型是厂房;而南排河镇有 47.8% 的土地利用类型为沿海滩涂,38.6% 为水塘。

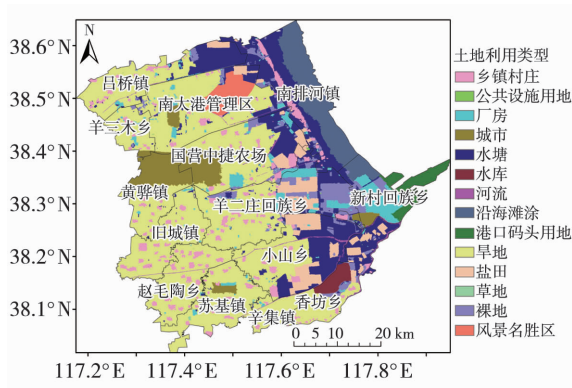


图5 沧州沿海地区土地利用类型

Fig. 5 Land use types in the coastal areas of Cangzhou

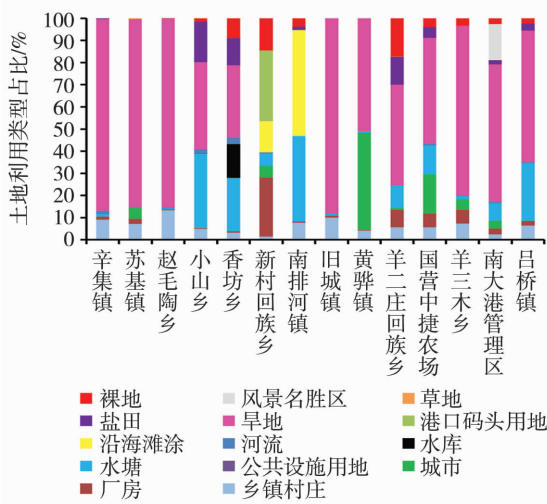


图6 沧州沿海地区各乡镇不同土地利用类型所占比例

Fig. 6 The percentage of different land use types in villages and towns in coastal areas of Cangzhou

#### 4.2.4 防灾减灾能力

(1)公共财政收入。基于2015年沧州地区社会经济年鉴中的地方公共财政收入和沿海各乡镇行政区划面积数据,可知单位面积内,渤海新区所在的新村回族乡公共财政收入最高,黄骅镇、苏集镇、南大港管理区、国营中捷农场单位面积收入水平依次次之,而赵毛陶乡、香坊乡和小山乡单位面积收入相对较低。

(2)防灾设施。海堤堤顶高程为4.20~5.40 m (85 高程),为不连续线状分布,其间断开处多为河口、涵闸、未达标海堤、村庄用地占用等。海兴段海堤顶高4.50~8.50 m,其上有0.50 m的防浪墙,黄骅港各码头高程均为4.04 m。

(3)公路。沧州沿海地区是京、津2市通往东南沿海地区的交通要冲,京沪、京九铁路,京沪高速、京福、京开、山广、海防等公路贯穿南北,石黄高速、沧保、沧石、正港等公路和朔黄铁路贯穿东西,黄骅港连接着海上交通。本文重点调查了一些关键公

路:一是沿海海防公路,位于海堤以西大概1000 m以内,海防公路海拔高度在3.50~5.50 m之间,且绝大部分地段高度都在4 m以上,除个别桥梁涵闸外,对防御风暴潮来说是一道坚固的屏障;二是沿河流两岸的公路,河流两岸往往是风暴潮灾害的重灾区,经过勘测发现,漳卫新河南岸有较高等级的防御风暴潮能力,其海拔高度在5.00 m左右,而且在公路上还有大约0.5 m高的防浪墙。

(4)医院。沧州沿海地区有39家医疗机构,其中县级医院21家,乡镇卫生院10家,村级卫生所8家,县级医院主要集中在黄骅市中心所在地黄骅镇和海兴县中心所在地苏集镇。紧邻海边的乡镇仅渤海新区中心城区所在的新村回族乡有3家医疗机构,南排河镇有2家,香坊乡有1家,沿海地区的医疗资源较少。

### 4.3 承灾体脆弱性分析

#### 4.3.1 确定脆弱性指标权重

采用层次分析法评估各评价指标的脆弱性。因为防灾减灾能力对承灾体脆弱性起负反馈作用,因此只对其指标层进行层次分析,得到各评价因子在防灾减灾能力的权重(表3),而准则层未列入层次分析过程。自然环境、社会经济指标层的权重值可直接作为其脆弱性值代入公式(1),得到相应准则层的脆弱性指数。

#### 4.3.2 土地利用类型脆弱性分析

采用国家海洋局制定的《风暴潮灾害风险评估和区划技术导则》中以土地利用类型为依据来进行风暴潮灾害承灾体脆弱性评估的方法,土地利用类型标准采用《GB/T201010-2007 土地利用现状分类》。脆弱性等级分4级(I、II、III、IV),其中第IV等级脆弱性最低,第I等级脆弱性最高。根据土地利用类型分类结果和脆弱性等级,赋予相应的脆弱指数,得到土地利用类型脆弱性指数分布。

### 4.4 风暴潮承灾体易损性综合评价

根据风暴潮成灾特点,设计两种情景:一种是风暴潮发生时,部分海防设施受损或毁坏,导致溃堤或漫堤,海水向内陆推进,此时灾害风险中的不可防御部分 $\alpha$ 假设为50%;另一种是海防设施完全发挥作用,但海水沿河流入海口溯流而上,此时灾害风险中的不可防御部分 $\alpha$ 假设为20%。根据公式(1)、(2)、(3),基于各评价指标的栅格图层,分情景计算风暴潮灾害承灾体易损性 $V_b$ ,分析风暴潮承灾体易损性分布情况。采用自然断点法对承灾体易损性进行分级。易损程度按由低到高的顺序分为5级,结果如表4所示。

表 3 风暴潮灾害承灾体脆弱性指标权重

Tab. 3 The weights of vulnerability indexes of storm surge disaster

目标层	准则层	权重	指标层	权重	
风暴潮承灾体脆弱性	自然环境	0.1047	海拔高程	0.6833	
			坡度	0.1168	
			河网密度	0.1998	
	社会经济	0.6370	0.6370	人口集聚度	0.2779
				重点单位	0.5223
				城镇化率	0.1998
				各类型	对照脆弱性级别表
	土地利用类型	0.2583	—	公共财政收入	0.0626
	防灾减灾能力	—	—	防灾设施	0.6396
				公路	0.2351
				医院	0.0626

表 4 沧州沿海地区风暴潮灾害承灾体易损度等级划分

Tab. 4 Classification of vulnerability levels of storm surge disaster in coastal area of Cangzhou

等级	等级描述	易损性数值范围
5	低易损度	[0.3926,0.8915)
4	较低易损度	[0.8915,1.1468)
3	中等易损度	[1.1468,1.2919)
2	较高易损度	[1.2919,1.4891)
1	高易损度	[1.4891,1.8721)

图 7 为情景 1 和情景 2 条件下沧州沿海地区风暴潮灾害承灾体易损度区划。可以看出,在情景 1 条件下,较高等级以上易损度的区域主要包括黄骅镇、南大港管理区、国营中捷农场、南排河镇、新村回

族乡、苏基镇和辛集镇。其中黄骅镇和国营中捷农场西部人口密集,社会经济总量较高,易损度较高,但其距离海岸线较远,受风暴潮危害的几率较小。南排河镇沿海岸线分布有许多村庄,这些村庄或建在旧海堤之上,或建在海堤之外,尤其是南排河镇中部,易损等级较高。渤海新区中心所在的新村回族乡,是沧州市的重要港口黄骅港所在地,其经济规模大,人口相对密集,一旦发生风暴潮灾害,社会经济损失的风险较大。在部分防灾设施受损或毁坏,风暴潮不可防御的部分达 50% 的情况下,应该重点关注以上区域。

在情景 2,风暴潮不可防御的部分占 20% 的条件下,相比情景 1,承灾体易损度分布规律大体类似,但各等级易损度的分布面积上有所变化。较高

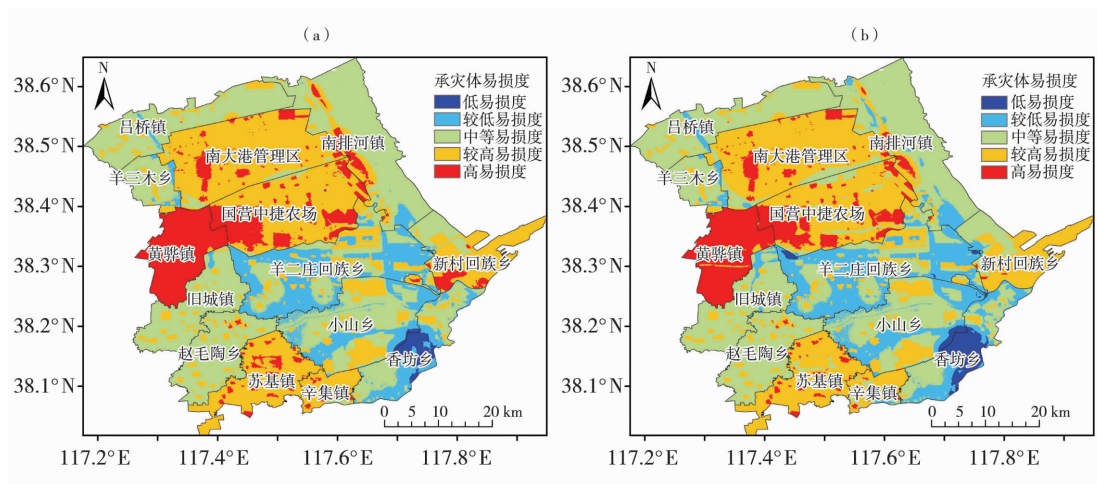


图 7 情景 1(a)和情景 2(b)沧州沿海地区风暴潮灾害承灾体易损度区划

Fig. 7 Vulnerability regionalization of disaster bearing body of storm surge hazard in coastal area of Cangzhou for the scene 1 (a) and scene 2 (b)

等级以上易损度的分布面积平均减少 1.81%，较低等级以下的易损度分布面积平均增加 1.36%。其中渤海新区中的港城区高易损度区域面积同比降幅最大，减少 10.6%。

通过与灾情信息比对发现，沿海地区的高易损性区域，南排河入海位置和新村回族乡黄骅港所在区域，这些区域在灾情纪录中同时也是易受风暴潮灾害影响的区域。

## 5 结论与讨论

(1)1965—2016 年，沧州沿海地区共遭受 12 次风暴潮灾害，累计导致直接经济损失达 14.85 亿元，受灾人口 46.3 万人，伤亡 2 人。灾害导致的直接经济损失呈降低趋势，但近 3 a 略有增加。其致灾方式可概括为：①发生溃堤或漫堤向内陆推进；②沿河流入海口溯流而上，进而淹没河道两旁地势较低的地区。

(2)黄骅镇、南大港管理区、国营中捷农场、南排河镇、新村回族乡、苏集镇和辛集镇等地区的承灾体易损度等级为较高或高。尤其是南排河镇中部和渤海新区中心所在的新村回族乡，前者人口密集，但防灾能力较弱，又是河流入海口；后者是沧州市的重要港口黄骅港所在地，其经济规模大，人口相对密集，以上区域一旦发生风暴潮灾害，社会经济损失的风险较大。

在研究过程中，因灾情资料较少，具体的承灾体损失记录缺失较多，未能构建脆弱性曲线以便对风暴潮承灾体做定量化的脆弱性评估，而是采用层次分析法进行了定性分析，评估结果不够客观。在今后的工作中，需要注意灾情信息的收集和积累，扩充和完善研究样本，采用定量化的研究手段，对承灾体脆弱性进行评估，完善风暴潮灾害承灾体易损性评估模型。

### 参考文献：

- [1] 谢丽,张振克. 近 20 年中国沿海风暴潮强度时空分布与灾害损失[J]. 海洋通报,2010,29(6):690-696.
- [2] WATSON CHARLES C. The arbiter of storms: A high resolution, GIS-based system for integrated storm hazard modeling[J]. National Weather Digest, 1995,20(2):2-9.
- [3] 傅赐福,于福江,王培涛,等. 滨海新区温带风暴潮灾害风险评估研究[J]. 海洋学报(中文版),2013,35(1):55-62.
- [4] 殷杰,尹占娥,于大鹏,等. 基于情景的上海台风风暴潮淹没模拟研究[J]. 地理科学,2012,32(9):1155-1160.
- [5] 谢翠娜,胡蓓蓓,王军,等. 天津滨海地区风暴潮极值增水漫滩情景展示及风险评估[J]. 海洋湖沼通报,2010(2):130-140.
- [6] 梁鑫鑫,陈洁,过仲阳. 舟山市风暴潮承灾体脆弱性评估研究[J]. 海洋预报,2015,32(6):80-84.
- [7] 李阔,李国胜. 广东沿海地区风暴潮易损性评估[J]. 热带地理,2011,31(2):153-158,177.
- [8] 郭凤清,曾辉,丛沛桐,等. 湛江蓄洪区洪灾承灾体脆弱性分析[J]. 灾害学,2014,29(3):102-107.
- [9] 李纪人. 遥感技术在防汛抗旱中的应用[J]. 中国防汛抗旱,2017,27(3):15-18.
- [10] 林志强,马艳鲜,德庆,等. 基于 GIS 和 RS 的西藏森林火险等级计算方法[J]. 气象科技,2014,42(6):1147-1153.
- [11] 何苗,徐永明,李宁,等. 基于遥感的北京城市高温热浪风险评估[J]. 生态环境学报,2017,26(4):635-642.
- [12] 朱静,唐川. 遥感技术在我国滑坡研究中的应用综述[J]. 遥感技术与应用,2012,27(3):458-464.
- [13] 尹占娥,暴丽杰,殷杰. 基于 GIS 的上海浦东暴雨内涝灾害脆弱性研究[J]. 自然灾害学报,2011,20(2):29-35.
- [14] 石先武,谭骏,国志兴,等. 风暴潮灾害风险评估研究综述[J]. 地球科学进展,2013,28(8):866-874.
- [15] 章国才. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京:气象出版社,2010:18-19.
- [16] 杨琳哈,赵增保,张彦恒,等. 基于层次法的冀北地区输电线雷击风险区划[J]. 干旱气象,2018,36(3):516-521.
- [17] 张坤兰,张彦龙,王文娟. 一次强台风引发的沧州沿海风暴潮过程及成因分析[J]. 海洋预报,2014,31(6):28-32.
- [18] 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.
- [19] 刘睿文,封志明,杨艳昭,等. 基于人口集聚度的中国人口集疏格局[J]. 地理科学进展,2010,29(10):1171-1177.



## Assessment of Vulnerability of Hazard Bearing Body in Cangzhou Coastal Areas for Storm Surge Disaster Based on GIS Technology

WEI Tiexin<sup>1</sup>, LI Tongtong<sup>2</sup>, WEI Jun<sup>1</sup>

(1. Hebei Meteorological Disaster Prevention Center, Shijiazhuang 050000, China; 2. Cangzhou Bohai New District Meteorological Bureau of Hebei Province, Bohai New District 061100, Hebei, China)

**Abstract:** Based on GIS and RS technology and supported by remote sensing images, storm surge disaster characteristics and the socio-economic data of Cangzhou coastal area, the indexes were selected from four aspects, including natural environment, social economy, land use types and disaster prevention and reduction capacity, to establish the storm surge disaster bearing body vulnerability assessment model. According to the disaster characteristics of storm surge and the disaster prevention capability of the study area, the vulnerability of storm surge bearing body in the coastal area of Cangzhou was assessed by multi-scenario. The results show that the vulnerability degree of disaster bearing body in Huanghua town, Nandagang administrative district, state-owned Zhongjie farm, Nanpahe town, Xincun township, Suji town and Xinji town was higher and above level, among which Nanpahe town and Xincun township were close to the coastline, and they were more likely to suffer storm surge than other towns, which should be paid more attention to. In other regions, the vulnerability level was relatively low, and Xiangfang town had relatively low exposure to disaster body, strong disaster prevention ability, and the risk of vulnerability was the lowest.

**Key words:** storm surge disaster; vulnerability of hazard bearing body; GIS technology; coastal towns in Cangzhou

=====

(上接第 996 页)

## Diagnostic Analysis of Torrential Rain Associated with Typhoon Bolaven (1215) over Liaodong Peninsula

LIANG Jun<sup>1</sup>, ZHANG Shengjun<sup>2</sup>, LI Tingting<sup>1</sup>, ZHANG Lihong<sup>1</sup>,  
FENG Chengcheng<sup>1</sup>, ZHANG Caifeng<sup>1</sup>

(1. Dalian Meteorological Observatory of Liaoning Province, Dalian 116001, Liaoning, China;  
2. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on CMA Tropical Cyclone Yearbook, FY-2E temperature of brightness blackbody (TBB) product ( $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ), hourly rainfall observations from Dalian's automatic weather stations, conventional observation data and ERA-Interim reanalysis data ( $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ ), the characteristics of large scale circulation and mesoscale systems causing the torrential rain in Liaodong Peninsula as the typhoon Bolaven (1215) was moving northward were analyzed. The results are as follows: (1) It was favorable for typhoon Bolaven's moving northward when the western ridge point of Western Pacific subtropical high (WPSH) steadily located near  $130^\circ\text{E}$ . Southerly jet, which formed between the WPSH and the typhoon Bolaven, provided sufficient water vapor and energy for the rainstorm over Liaodong Peninsula. (2) The convergence zone which located over the eastern Liaodong Peninsula and the west side of WPSH provided a favorable environment field for the formation and strengthening of meso-scale cloud cluster during the period of the typhoon Bolaven impacting Liaodong Peninsula. And it just was at the stage of transition and weakening. (3) When Liaodong Peninsula located over different quadrant of Bolaven, it suffered from a very different rain intensity. When it located over the northwestern Bolaven, it suffered from a bigger rain rate with the intense low layer horizontal convergence, strong vertical wind shear and deep upward motion. When it located over the southwestern Bolaven, it met with a weaker rain rate with obvious subsidence movement and poor dynamic lifting condition. (4) Strong rainfall was closely related to the cold and warm advection at the lower layer in the north part of typhoon circulation, and the cold and warm advection intersection had a good indication for heavy rainfall in the eastern Liaodong Peninsula.

**Key words:** typhoon Bolaven; Liaodong Peninsula; storm rainfall; diagnostic analysis