第26卷 第1期 自 然 灾 害 学 报 Vol. 26 No. 1
2017年2月 JOURNAL OF NATURAL DISASTERS Feb. 2017

文章编号: 1004 - 4574(2017)01 - 0041 - 07 DOI: 10.13577/j.jnd.2017.0106

# 风暴潮灾害风险的精细化评估研究

于良巨,施 平,侯西勇,邢前国

(中国科学院 烟台海岸带研究所,山东 烟台 264003)

摘 要: 以龙口市北部沿海风暴潮灾害为研究对象,结合风与浪潮致灾因子、空间与地形等孕灾环境、承灾体类型等影响风暴潮灾害损失变化的有关因素,基于GIS空间分析技术建立了风暴潮灾害风险评估的定量模型,开展了风暴潮灾害风险的精细化评估。结果表明,在风速增大的情况下,淹没范围和可能性损失程度都相应增大;可能性损失呈有规律分布,离海岸线越近,风险值越大。研究结果可供沿海地区的风暴潮灾害风险区划和风险管理参考。

关键词: 风暴潮; 灾害风险; 评估方法; 精细化

中图分类号: X43 文献标志码: A

# Research on fine assessment of storm surge disaster risk

YU Liangju, SHI Ping, HOU Xiyong, XING Qianguo

(Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

**Abstract:** Taken the storm surge disaster risk of Longkou northern coast as a case study, this paper integrates relevant factors influencing storm surge disaster loss, such as storm and wave, disaster pregnant environment like as space and terrain, and the type of disaster-affected body. Then, the model and fine method of storm surge disaster risk assessment were established in the basis of spatial analysis technology of GIS. The result shows that both the inundated area and the degree of possible loss caused by storm surge increase when wind speed grows. The degree of possible loss of storm surge disaster presents a regular distribution in coastal zone. The more the distance from coastline, the large the storm surge disaster risk is. The result may provide a reference for coastal storm surge disaster risk zonation and risk management.

**Key words:** storm surge; disaster risk; assessment method; fining

风暴潮是指由强烈大气扰动,如热带气旋(台风、飓风)、温带气旋等引起的海面异常升高现象。风暴潮引起的沿岸涨水而造成的人员伤亡、财产损失,被称为风暴潮灾害。风暴潮灾害对沿海经济社会造成的影响越来越大,日益受到各级政府和学界广泛关注[1]。对风暴潮灾害进行精细风险评价不仅是政府控制灾害风险、减少灾害损失的重要依据,也是灾害风险管理中的重要环节。

国内对风暴潮的研究主要集中于风暴潮的数值预报[2-3]、潮高估算和重现期研究[4]、危险性评估[5]、承灾体暴露性和脆弱性评估[6]、灾害风险区划[7]、灾情损失评估及等级划分[8-9]等方面[10]。乐肯堂对风暴潮

收稿日期: 2016 - 04 - 27; 修回日期: 2016 - 06 - 15

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KZZD - EW - TZ - 15); 山东省博士基金资助项目(BS2013HZ017); 国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室(LOMF1302); 中国海洋发展研究中心重点项目(AOCZD2013 - 2)

Supported by: Key Development Project of the Chinese Academy of Sciences(Grant No. KZZD - EW - TZ - 15); Foundation for Outstanding Young Scientist in Shandong Province(Grant No. BS2013HZ017); Open Fund of the Key laboratory of research on Marine Hazards Forescasting(Grant No. LOMF1302); Key Projection of China Association of Marine Affairs(Grant No. AOCZD2013 - 2)

作者简介: 于良巨(1975 - ),男,助理研究员,博士,主要从事海岸带防灾与综合管理研究. E-mail: ljyu@yic.ac.cn

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

灾害损失进行了界定并讨论了风暴潮社会经济风险评估的方法，任鲁川等[11]从风险辨识、风险估算和风险评价为主线，给出了风暴潮灾害风险分析的流程，尹宝树等[12]基于建立海浪和风暴潮潮汐数值模式及长期预测结果，提出了风险评估方法和程式步骤。风暴潮灾害风险大小不仅受人口和财产等承灾体分布的影响，还与天文、气象、地理等孕灾环境密切相关。有学者从风暴潮增水、浪高、降雨强度、风速、潮差、气旋频数、海岸高程、海岸地貌、土地利用、人口密度、人均 GDP、海堤标准、海岸坡度等方面构建指标[13]，但大多研究以市级或县级行政区作为评价单元[7]，也有的以土地利用或者城市用地单元开展区域综合自然灾害风险评估[14]，计算结果多基于数理统计关系。风暴潮的风险评估结果在空间分辨率不高，结果也难以对灾害风险管理的有效支持。自然灾害风险评估要向定量化、区域综合化、管理空间化的方向发展，现有的自然灾害风险评估方法由于不能定量表现空间的具体差别，无法满足灾害风险管理的要求[15]。如何在较小空间尺度客观真实地表现风暴潮灾害风险的空间差异，即精细化评估，获得空间尺度上高分辨率的、具有确定的定量风险值的评估结果成为沿海地区的防灾减灾工作的迫切需求。

本文以龙口市北部沿海风暴潮灾害为研究对象，基于 GIS 的空间分析技术对研究区域单元格网划分，综合风、浪潮致灾因子，空间与地形等孕灾环境、承灾体类型等影响风暴潮灾害损失变化的有关因素，建立风暴潮灾害风险定量评价模型。这种方法对于精细分析风暴潮灾害风险的分布及变化，具有重要的科学意义。

## 1 研究区概况

研究区位于山东半岛北部，莱州湾东岸，西起龙口市屺姆岛北部，东至黄水河，海岸线长约 10 km，面积 6.33 $km^2$（图 1）。地形以沙滩、台地为主，地势低平，坡度一般小于 1°，沉积物以细砂为主，属于砂质海岸，地表高程大多低于 5m；海滩最长 1 800 多 m，宽约 50 多 m。由于受风暴潮的侵蚀作用，西部沿岸坡度较大，东部沿地形较为平缓。研究区东侧有一新建渔港，北皂村附近养殖海参，沿岸分布众多海参育苗及大鳞鲆养殖大棚。该区极易受风暴潮灾害的影响，造成鱼塘及养殖配套设施冲毁、渔船报废等损失。

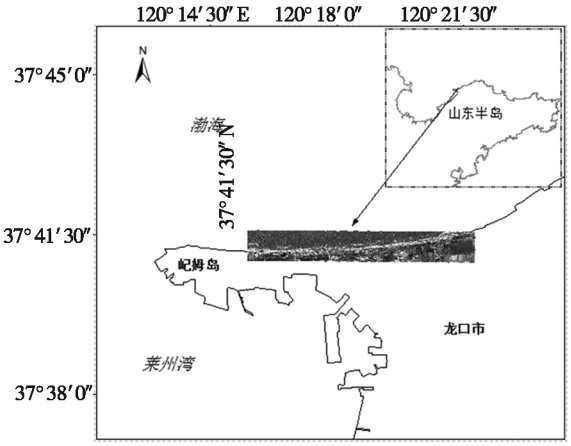


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Sketch map of research area

本海域潮汐属不规则半日潮区，水深大都在 15 m 以内，最深 23.5 m，位于屺姆角附近。观测资料表明，最高潮位 3.40 m（验潮水尺零点在黄海基面下 0.86 m），最低潮位 −1.23 m；平均高潮位 1.36 m，平均低潮位 0.45 m；最大潮差 5 m，最小潮差 0.01 m。本区常风向为 NNE，冬季风向以 NE 为主，次风向为 NW。波浪以风浪为主，冬春节波浪较大，强浪向和常浪向均为 NNE 向，潮波统计平均波高 1.3 m，平均周期 4.9 s，最大波高 3.9 m。

## 2 研究方法和数据处理

### 2.1 研究方法

国内外对自然灾害风险的一般计算方法：

$$R = H \times V \times E, \tag{1}$$

式中，$R$ 为灾害风险，$H$ 为致灾因子，$V$ 为脆弱性，$E$ 为暴露度，即风险 = 致灾因子 × 脆弱性 × 暴露度。

由上可知，风暴潮灾害风险由三部分组成，致灾因子要素为潮水增水水位与持续时间，二者受到风速、宏观因子（经度、纬度）等因素的影响；暴露度主要指承灾体受局地因子（海拔高度、坡度、坡向）等因素的影响，也因距海岸线的距离（$d$）不同而变化；脆弱性指不同的承受体受到风暴潮的损伤程度不同，即不同单元上人口、资产等承灾体易损性不同（图 2）：

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

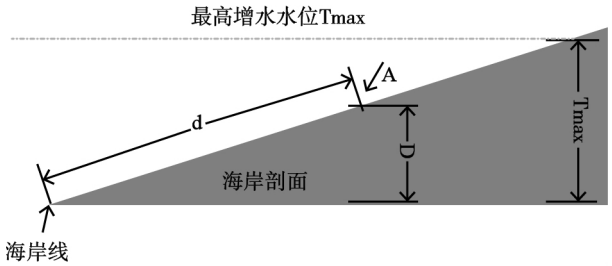


图 2　风暴潮淹没损失示意图( A 为承灾体)

Fig. 2　Sketch of storm surge inundation loss

综合上述因素，针对风暴潮的直接损失，本文提出风暴潮灾害风险 R 的计算方法:

$$R = (f_1(F,t,\theta) - D) \times f_2(d) \times f_3(z) \tag{2}$$

式中，$f_1(f,t,\theta)$ 为致灾因子指数，$f_2(d)$ 暴露度指数，$f_3(z)$ 为脆弱性指数，下面对各指数和参数作简单说明:

(1) 风暴潮致灾指数 $f_1$。风暴潮增水量的大小，不仅与由诱发的天气系统的路径、强度、风向、风速等因素有关，还与沿岸位置与地形也有关系。

温带风暴潮增水的直接原因是随着气象扰动而产生的气压和风的变化。这种风和气压的变化作用于海面被称作风应力，从而引起海水的运动和海面的倾斜。例如，莱州湾沿岸风暴潮发生时，吹东北大风，风力要达到 9 ~ 10 级且持续 36 h; 当风向发生变化或风速减弱时，海面水位开始下降，风暴潮逐渐消失。

山义昌等[16]的研究表明，东南大风、东北大风和天文大潮对风暴潮贡献所占的比例为 3∶6∶1。对于海水比较浅的莱州湾地区，风的动力作用远大于气压差的作用，所以对增水量值的估计，主要考虑风向 $\alpha$、岸线走向 $\beta$、风速 $F$ 和风的持续时间 $T$。风暴潮各阶段的增水量的评估采用以下经验公式进行:

在东南风阶段，　$T_{max1} = 0.005Ft\sin\theta \quad (0° < \theta < 180°)$;　(3)

在东北风阶段，　$T_{max2} = 0.01Ft\sin\theta \quad (0° < \theta < 180°)$.　(4)

式中，$T_{max1}$、$T_{max2}$ 为增水高度值( m) ; $F$ 为风速( $m/s$) ; $t$ 为大风持续时间( $h$) ; $\theta$ 为风向与岸线之间的夹角( $\theta = \alpha - \beta$) 。当 $\theta = 90°$ 时，$\sin\theta = 1$，大风的增水作用最大; 当大风风向偏离 90° 时，$\sin\theta < 1$，当风向转到大于 180° 时，大风没有增水作用。

(2) 风暴潮暴露度指数 $f_2$: 暴露性是指处于洪水威胁的人、财、物，该指数受两个方面因素的影响: 一方面，由于距海岸线的距离 $d$ 不一样，其损失程度也不一致。以海水淹没为例，根据野外调查，当地最大风暴潮海水上涨的淹没距离为 1969 年，海水淹没距离大约 1 km，本文这里取 800 m 为影响值。在一定的距离范围内，一般遵循距离衰减原则。另一方面，如果不考虑风的致灾影响，在风暴潮水位一定的情况下，位于最高潮位之上的承险体不受损失，而最高潮位之下的承险体则遭受淹没损失( 图 2) ，计算时以承险体所处位置的最小高程 $D$ 表示。

(3) 风暴潮浪对岸线的易损性指数 $f_3$: 易损性是指承灾体易于受到致灾洪水的破坏、伤害或损坏的特性，反映了各类承灾体对洪灾的承受能力。风暴海浪对各种承灾体的破坏作用是不同的，损失率由于承灾体不同，其损失程度不一样。根据其作用强度，破坏程度不同，本文采取一种简单的分类方法对研究区的岸线进行赋值，岸线可分为建设围堤、码头岸线、砂砾质岸线、养殖围堤，其他类型岸线包括基岩岸线、河口岸线、交通围堤、淤泥质岸线等。各岸线受风暴潮的破坏作用是不同的，资产价值和人类活动将各类岸线的易损性值对其取值范围 $z$ 赋值为: 建设围堤( 0.8 ~ 1.0) ，养殖围堤( 0.6 ~ 0.8) ，码头岸线( 0.4 ~ 0.6) ，砂砾岸线( 0.2 ~ 0.4) ，其他岸线( 0 ~ 0.2) 。

## 2.2　数据来源与处理

数据主要来源 Google 高分影像，对影像下载后进行空间校正，DEM 地形数据比例尺为 1∶10 000，在 ARCMAP 中将二者统一到 UTM - WGS84 - 50 直角坐标系。主要处理步骤包括: 首先提取海岸线，以海岸线为边界生成 100 m 为单元的影响区域( 如图 4 网格所示) 。其次，根据风暴潮致灾指数 $f_1$，利用式( 3) 和式( 4) 计算不同岸线走向下的风暴潮增水，再次，根据所在单元的中心高程和到海岸线的距离，计算每个单元的暴露度指数 $f_2$。然后，根据致灾因素、经纬度和海拔高度的定量关系，计算各单元淹没深度。最后，根据各岸线的易损度标准，计算风暴潮灾害的风险值。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

## 3　结果

以研究区 2007 年 3 月 4 日发生的特大温带风暴潮为例，海域风速平均达到 9 ~ 10 级（根据风力等级表，风速在 20.8 ~ 28.4 m/s 之间）[17]。假设风暴潮风的风向、持续时间不变（风速 = 20 m/s，25 m/s，时间 = 36 h），在不同的风速大小情景下，计算研究区的淹没范围和损失程度变化。由于研究区的岸线主要为砂质岸线，$z$ 值取为 0.3。研究区的岸线走向为 NNE，为简化计算，假定东北大风与岸线之间的夹角始终保持为 $\theta = 90°$。

表 1　研究区不同风速下的增水和淹没范围

Table 1　Surge height and inundation area in different wind speed in research area

| | 风速/(m·s$^{-1}$) | 持续时间/h | 风暴潮增水值/m | 淹没面积/hm$^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 情景 1 | 20 | 36 | 2.47 | 491 |
| 情景 2 | 25 | 36 | 4.34 | 545 |

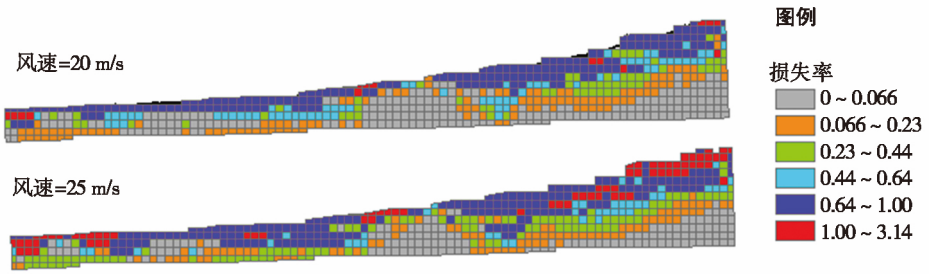


图 3　不同风速下的淹没范围和风险水平（假定风向持续 36 小时，风速为 20 m/s 和 25m/s）

Fig. 3　Inundation area and risk level in different wind speed (wind duration 36 h, wind speed 20m/s and 25m/s)

### 3.1　两种风速下的淹没面积变化

根据经验统计式（4），计算了在两种不同的风速情况下，风暴潮增水在风速 25 m/s 时比 20 m/s 时增加 1.87 m，而淹没面积也相应地增加了 54 hm$^2$（见表 1 和图 3）。

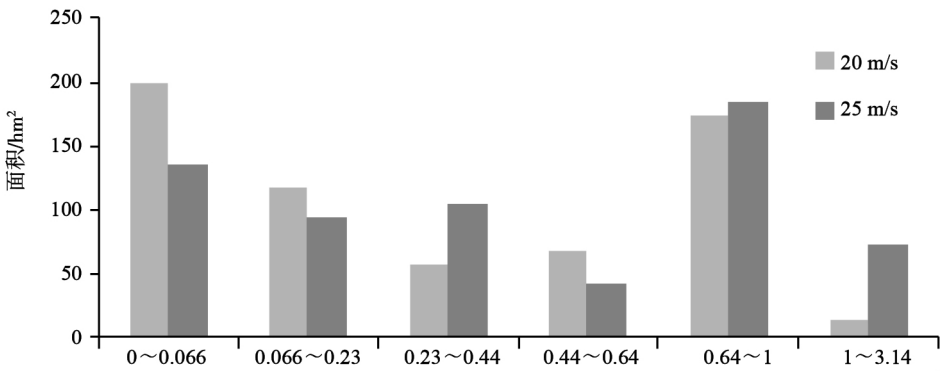


图 4　不同风速下的可能性损失对比

Fig. 4　Contrast of possible loss in different wind speed

### 3.2　不同风速下的风险值变化

风速增大不仅导致淹没范围增大，而且研究区的整体风险水平也随之上升。通过对 6 种状态下的风险值统计对比发现（图 4 和表 2），风险值在 0 ~ 0.066 之间的面积减少了 47.4%，风险值在 0.066 ~ 0.23 之间面积减少了 26.9%，与此相应，风险值在 0.23 ~ 0.44 之间的面积增加了 82%，风险值在 0.44 ~ 0.64 之间的面积增加了 60%，风险值在 0.64 ~ 1 之间的面积的仅增加了 5.7%，处于 1 ~ 3.14 之间的风险水平则增加了 386%。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2　不同风险水平下的受灾面积

Table 2　Damage area in different risk level　　$hm^2$

| 风速 m/s | 风险值 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 ~ 0.066 | 0.066 ~ 0.23 | 0.23 ~ 0.44 | 0.44 ~ 0.64 | 0.64 ~ 1 | 1 ~ 3.14 |
| 20 | 199 | 118 | 58 | 69 | 174 | 15 |
| 25 | 135 | 93 | 106 | 43 | 184 | 73 |

可以看出,可能性损失呈现规律性的分布,离海岸线越近,可能性损失值越大; 在沿海岸线方向上( 由于研究区各部分地形的差异,中部地区高程都高于 4 m,相比于其他部分风险值可以忽略) ,受所在单元高程对海水淹没的影响,风险值规律不明显。但在风速 20 m/s 和 25 m/s 两种情况下,一方面,后者比前者淹没的范围大,另一方面,对于靠近岸线的同一网格单元内可能性损失值,后者也比前者大。此外,即使在同一增水情况下,由于空间变化与经度、纬度和高度的关系,各单元内的风险值在空间上也存在差异。

## 4　讨论

### 4.1　结果分析

由于研究区各单元距岸线的距离不同,在空间上风险值呈现有规律性的分布。越靠近岸线,致灾危害性大,容易遭受到损失的可能性越大,风险值越大; 相反,离岸线越远,风险值越小。

从图 4 可以看出,对 20 m/s 和 25 m/s 两种不同的风速比较,风速越大,淹没的范围越大,后者淹没地区比前者增加了 87 ha; 同一地区的风险值,在风速增大的情况下,其风险等级也变大。

在风暴潮灾害风险的空间分布上,风险值较高者( 风险等级为 1 ~ 3.14) 位于研究区右上方( 如图 5 中最下侧渔港所在位置) 。根据 2014 年现场调查( 图 5) ,证实研究区东侧( 一处无名小型渔港) 是风险值比较严重的地区。在 2012 年的一次风暴潮灾害过程中,研究区海水养殖和渔船等受损严重。尤其是,港内渔船受损严重,有大量的渔船被毁,总价值达 65 万元的 8 ~ 9 条船被破坏,另外,周围的房屋被淹( 图 5) 岸边的养殖大棚进入海水,渔民损失惨重。调查结果与评估结果相一致,从而验证了该评估方法的可靠性。

图 5　渔港内被损毁渔船( 位于图 1 所示东北角)

Fig. 5　Damaged fishing boat in fishing port ( the northeast point in Fig. 1)

### 4.2　进一步需要研究的问题

本文提出的方法具有普遍性,既可以对单次风暴潮灾害进行受灾区域不同岸线类型的风险计算与比较,指明风暴潮灾害风险重点防护区域,为防灾减灾提供指导; 也可以对同一岸段不同风暴潮大小下的风险值进行对比,以确定该岸线的最大可能损失程度,为灾害保险提供依据。由于研究水平受限,本文研究方法中也存在一些问题:

( 1) 研究中计算的风暴潮最大增水可能与实际增水有出入。一方面,尽管基于经验统计模型建立了风速与增水值之间的关系,但风速与增水值的线性关系不一定具有普适性,这是因为即使风速同等条件下,风

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

暴潮最大增水受气象条件和地理环境的约束。特别强调的是,整个渤海海水较浅,大风增水比气压差增水更迅速,风暴潮瞬间即可形成;东南大风使渤海湾增水,给风暴潮的形成奠定了基础。但由于东南大风系离岸风,对该区来说增水并不显著;当转为东北大风时,由吹离岸风改为向岸风,增水速度骤然加快,海水短时就会冲向岸边并掀起滔天巨浪,尤其当天文潮差与气象大潮发生耦合效应的时候,即是较大风暴潮灾害发生时刻[16]。另一方面,本文计算时风速为常量,实际上,风速不能保持在相同的速度大小,有一个从逐步增大再由大到小的过程;此外,风向也不能保持在一定的时间不变化。

(2) 研究中简单地对每种岸线类型作了承灾体的脆弱性赋值,没有考虑每种承灾体的具体物理损失率,如果考虑每一种承灾体的灾损率,针对不同的承灾体,建立风暴潮的物理脆弱性曲线,用来衡量不同灾种的强度与其相应损失之间的关系[18],结果更符合实际。

(3) 在计算各单元距海岸线的距离时,亦没有考虑到岸线变化的影响。实际上,风暴潮对岸线的影响特别严重,尤其是砂质岸线,由于较大风暴潮的影响,发生海岸侵蚀现象,导致海岸线后退,这对风险值的计算有影响。如果岸线后退,待评估网格单元距离海岸线变小,实际风险值比计算的大。

(4) 坡度高低和地面粗糙程度对于消减风暴潮的能量具有重要的作用,需要考虑坡度和下垫面的影响。

## 5 结论

风暴潮灾害的风险大小,不仅受到中心气压、风暴烈度、风暴前进速度的影响,同时也受到海滩底部宽度和坡度的限制,以及潮水到达海岸的角度和岸线形状的制约,更与受灾当地的承灾体特征有关。

相比于前人研究中以不同级别行政区域作为评价单元,其评估结果只有一个行政区域,风险评价的空间分辨率不高。本文根据灾害风险一般计算方法,从致灾因子、暴露度、承灾体3个角度,分别从气象、地形、地貌等多角度选择因子,综合考虑了岸线类型、高程、离岸线的距离、风向、风速等因素,提出了风暴潮灾害风险的计算方法,从而在微观尺度上实现了风暴潮灾害风险的空间评价,评价结果精度较高,能在空间上较好地反映了风暴潮损害的可能性损失差异,这为沿海风暴潮灾害频发的地区灾害保险的实施提供了基础,如为灾害保险费率的计算提供了依据,同时也为今后该地区的区域规划等提供决策依据。

## 参考文献:

[1] 杨桂山. 中国沿海风暴潮灾害的历史变化及未来趋向[J]. 自然灾害学报, 2000,9(3):23-30.
YANG Guishan. Historical change and future trends of storm surge disater in China's coastal area[J]. Journal of Natural Disaters, 2000,9(3):23-30. (in Chinese)

[2] 王培涛,董剑希,赵联大,等. 黄渤海精细化温带风暴潮数值预报模式研究及应用[J]. 海洋预报, 2010, 27(4):1-8.
WANG Peitao, DONG Jianxi, ZHAO Lianda, et al. Studies and applications of refined numerical extratropical storm surge forecast model for Bohai and Yellow Sea[J]. Marine Forecasts. 2010, 27(4):1-8. (in Chinese)

[3] 吴亚楠,王智峰,董胜,等. 山东沿海台风暴潮数值模拟与统计分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(3):169-176.
WU, Yanan, WANG Zhifeng, DONG Sheng, et al. Numerical simulation and statistic analysis of typhoon storm surge in coastal area of Shandong Province[J]. Journal of Natural Disaters, 2015, 24(3):169-176. (in Chinese)

[4] 李阔,李国胜. 珠江三角洲地区风暴潮重现期及增水与环境要素的关系[J]. 地理科学进展, 2010, 29(4):433-438.
LI Kuo, LI Guosheng. Calculation of Return Period for Storm Surge in the Pearl River Delta Region[J]. Progress in Geography, 2010, 29(4):433-438. (in Chinese)

[5] 任鲁川,尹宝树,别君,等. 风暴潮灾害风险分析的基本原理与方法[J]. 应用基础与工程科学学报, 2004(增刊):28-34.
REN Luchuan, YIN Baoshu, BIE Jun, et al. Basic principles and methods for risk analysis of storm surge disaster[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2004(S):28-34. (in Chinese)

[6] 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.
LI Kuo, LI Guosheng. A Storm Surge Vulnerability Assessment for Coastal Guangdong[J]. Tropical Geography, 2011, 31(2):153-158. (in Chinese)

[7] 刘强,张玉红. 青岛地区风暴潮灾害易损性风险区划建模[J]. 海洋地质前沿, 2012,30(9):46-53.
LIU Qiang, ZHANG Yuhong. Modeling for vulnerability zoning of storm surge disaster and its application in qingdao[J]. Marine Geology Frontiers, 2012,30(9):46-53. (in Chinese)

[8] 王琼. 渤海西岸盐业气象灾害灾损评估方法研究[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(2):183-187.
WANG Qiong. A study on loss assessment of meteorological disasters in salt industry on west coast of the Bohai Sea[J]. Journal of natural disaters. 2011, 20(2):183-187. (in Chinese)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[9] 石先武,刘钦政,王宇星. 风暴潮灾害等级划分标准及适用性分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(3): 161 – 168.
SHI Xianwu, LIU Qinzheng, WANG Yuxing. Gradation criteria of storm surge disaster and their applicability analysis[J]. Journal of natural disaters, 2015, 24(3): 161 – 168. (in Chinese)

[10] 赵庆良,许世远,王军,等. 沿海城市风暴潮灾害风险评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 32 – 40.
ZHAO Qingliang, XU Shiyuan, JUN WANG, et al. A review of risk assessment of storm surge on coastal cities[J]. Progress in Geography, 2007, 26(5): 32 – 40. (in Chinese)

[11] 乐肯堂. 我国风暴潮灾害风险评估方法的基本问题[J]. 海洋预报, 1998, 15(3): 38 – 43.
LE Kengtang. Basic problem of storm surge risk disaster assessment method in China[J]. Marine Forecasts, 1998, 15(3): 38 – 43. (in Chinese)

[12] 尹宝树,徐艳青,任鲁川,等. 黄河三角洲沿岸海浪风暴潮耦合作用漫堤风险评估研究[J]. 海洋与湖沼, 2006(5): 457 – 463.
YIN Baoshu, XU Yanqing, REN Luchuan, et al. Risk assessment of overtopping dam under waves and surges in coastal areas of the Huanghe (Yellow) River Delta[J]. Oceanologiaet Limnologia Sinica, 2006(5): 457 – 463. (in Chinese)

[13] 殷克东,孙文娟. 风暴潮灾害经济损失评估指标体系研究[J]. 中国渔业经济, 2011, 29(03): 87 – 90.
YIN, Kedong, SUN, Wenjuan. Research on the index system of the storm surge disaster economic loss assessment[J]. China Fisheris Economics, 2011, 29(3): 87 – 90. (in Chinese)

[14] 张斌,赵前胜,姜瑜君. 区域承灾体脆弱性指标体系与精细量化模型研究[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 36 – 40.
ZHANG Bin, ZHAO Qiansheng, JIANG Yujun. Research on indexes system about regional vulnerability of hazard – affected bodies and fine spatial quantitative model[J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(2): 36 – 40. (in Chinese)

[15] 刘毅,吴绍洪,徐中春,等. 自然灾害风险评估与分级方法论探研——以山西省地震灾害风险为例[J]. 地理研究, 2011, 28(2): 195 – 208.
LIU Yi, WU Shaohong, XU Zhongchun, et al. Methodology for assessment and classification of natural disaster risk: a case study on seismic disaster in Shanxi Province[J]. Geographical Research, 2011, 28(2): 195 – 208. (in Chinese)

[16] 山义昌,张芹,杨付津,等. 莱州湾风暴潮的形成与增水量评估[J]. 山东气象, 2006, 26(4): 4 – 5.
SHAN Yichang, ZHANG Qin, YANG Fujin, et al. The formation of the storm surge and the assesment of tide water in Laizhou Bay[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2006, 26(4): 4 – 5. (in Chinese)

[17] 张承旺,侯淑梅,孙忠欣. "070304"渤海特大风暴潮的成因分析[J]. 山东气象, 2007, 27(2): 25 – 27.
ZHANG Chengwang, HOU Sumei, SUN Zhongxin. The cause analysis of Bohai extra large storm surge "070304"[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2007, 27(2): 25 – 27. (in Chinese)

[18] 周瑶,王静爱. 自然灾害脆弱性曲线研究进展[J]. 地球科学进展, 2012, 27(4): 435 – 442.
ZHOU Yao, WANG Jingai. A review on development of vulnerability curve of natural disaster[J]. Advance in Earth Sciences, 2012, 27(4): 435 – 442. (in Chinese)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net