

黄骅市沿海风暴潮灾害风险评估区划研究

丁玉蓉¹, 王世彬², 刘仕潮³, 刘有才¹, 王平¹

(1. 河北省水文工程地质勘察院, 河北 石家庄 050021; 2. 河北省地矿局第四水文工程地质大队, 河北 沧州 061000; 3. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘要: 以黄骅市沿海地区为研究对象, 采用 ADCIRC 模型建立台风和温带风暴潮漫滩数值模型, 评估不同工况条件下风暴潮灾害的危险性, 同时结合承灾体脆弱性分析, 开展风暴潮灾害风险评估和区划研究。结果表明: 在 965 hPa 和 955 hPa 级别的台风风暴潮以及风速 32 m/s 和 36 m/s 的温带风暴潮影响下, 沿海乡镇均有不同程度受损, 温带风暴潮危险性大于台风风暴潮。黄骅市高风险区主要分布于南排河镇、新村回族乡和黄骅港等地。风险最高的工况为温带风暴潮(十二级 36 m/s)溃堤, 该工况下风暴潮风险区面积为 1 184.54 km², 其中黄骅港和新村回族乡 I 级风险区面积最大, 其次为南排河镇、吕桥镇、羊三木回族乡、中捷友谊农场和南大港农场, 其他乡镇风险较低。

关键词: 风暴潮灾害; 危险性; 脆弱性; 风险评估; 区划; 黄骅市

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)04-0009-07

1 引言

黄骅市位于渤海湾西岸, 地势平缓, 河流密布, 自西南向东北略倾斜, 坡降为 1/8 000~1/15 000, 地面标高一般为 2~15 m, 东部沿海岸线一带地面标高为 1~4 m。由于特殊的地理位置和地形作用, 黄骅市常年受温带风暴潮影响, 台风风暴潮的影响也不容忽视^[1]。由于黄骅市沿海地区地势较为平坦, 一旦发生漫堤, 将出现大面积淹没。据 1982—2020 年验潮资料统计, 黄骅站温带风暴潮最大增水值有 8 a 超过 200 cm, 最大值达到 266 cm。风暴潮在当地造成的经济损失达数十亿元, 1992 年、1997 年、2003 年和 2011 年风暴潮灾害经济损失均超过 1 亿元。在 2003 年温带风暴潮中, 黄骅港最高潮位为 333 cm, 潮水越过海堤缺口和海防路后沿河道上溯 50 km, 28 个村庄大面积进水, 500 户居民房屋进水, 受灾人口约 15 万, 418 个涵闸被冲毁, 1 310 艘渔船损毁, 46 个盐场被淹, 5 hm² 盐田受灾, 损失达 3.04 亿元。

风暴潮灾害风险评估和区划是风暴潮灾害风险管理的基础, 是践行提高自然灾害防治能力建设的一项重要工作, 可对沿海的经济发展规划、工程建设、各类涉海生产和生活活动起到积极的防范和预警作用, 同时为沿海设防工程提供基础数据和技术参考^[2]。沿海地区风暴潮灾害风险评估和区划是国内外社会和学术界普遍关注的热点和难点问题, 国外对相关评估理论和方法的研究相对较早, 已在不同城市开展应用, 并取得了良好的效果。我国近年来也开展了相关评估方法和理论的研究工作, 国家海洋环境预报中心于 2007 年完成了“河北省海洋灾害风险区划及应急技术方案”项目, 全国首份风暴潮风险评估图问世^[3]。2013 年全国海洋灾害风险评估区划试点工作开展, 河北省作为省尺度试点开展了风暴潮灾害的风险评估区划工作。该工作利用河北省 2' 岸段典型重现期风暴潮增水和潮位数据, 制作了河北省基于增水和超警戒潮位的风暴潮危险等级分布图^[4]。

收稿日期: 2021-10-08; 修回日期: 2022-01-11。

基金项目: 河北省市县级(沧州市、黄骅市、曹妃甸区)风暴潮灾害风险评估和区划。

作者简介: 丁玉蓉(1986-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事水文地质调查、海洋环境地质调查等研究。E-mail: 308792964@qq.com

2 研究方法

本文应用海洋水动力计算模型(A parallel ADvanced CIRCulation model for oceanic, coastal and estuarine waters, ADCIRC)开展了黄骅市台风和温带风暴潮漫滩数值模型研究,评估了不同工况条件下风暴潮灾害的危险性,结合承灾体脆弱性分析开展风暴潮灾害风险评估和区划研究,并提出对策建议。

2.1 风暴潮灾害危险性评估

(1) 漫滩模型建立与检验

收集黄骅市历史风暴潮水文与气象观测资料、1:10 000的基础地理数据提取的高程数据、沿海及其沿岸的地形数据(海堤、河流和河口、主要公路、养殖区和盐场),利用30 a再分析气象场重构易对黄骅市造成风暴潮的台风和温带天气系统,对风场强度进行分级。

对风暴潮灾害进行危险评估计算,其中很重要的一项就是将海堤的位置和顶高反映到模式的网格中。利用目前已有的数值模型,如POM(Princeton Ocean Model)、ELCIRC(Eulerian-Lagrangian CIRCulation)和FVCOM(Finite-Volume Coastal Ocean Model)等,均不能完全达到上述要求,因此我们选用ADCIRC模型来构建台风和温带风暴潮漫滩数值模型^[5-7],版本为50.99。由于台风和温带气旋在影响范围和强度上的不同特点,本文采用两种来源的风场来驱动风暴潮模型。台风在水平方向上风速相对变化较大,需要较高的分辨率来刻画台风风场变化,因此选用Holland^[8]台风风场模型来驱动台风风暴潮。温带气旋影响范围较大,往往还会出现温带气旋和冷高压共同作用的情况,风场需要反映计算区域内整体天气形势,因此选用过去30 a再分析风场来驱动温带风暴潮。

(2) 数据处理及网格划分

漫滩模型的计算区域范围是117°~130°E, 21°~41°N,包括渤海、黄海以及东海部分海域。高程数据为覆盖黄骅市的1:10 000的基础地理数据提取,该数据基于85高程,最高分辨率约50 m。模式计算范围较大,分辨率很高,约有75%的网格节点分布在风暴潮可能淹没的陆地区域,既消除了边界对计算结果的影响,又大大缩短了计算时间,整套高分

分辨率网格包括了844 190个三角形单元,共计426 189个节点。

黄骅市近海和外海的水深数据采用分辨率为2'×2'的ETOPO2和GEBCO水深数据。海岸线和海堤数据参考历史数据,结合外业调查进行修正后综合确定。

(3) 天文潮及典型风暴潮模拟检验

采用精细化风暴潮数值模型模拟了2019年8月的潮位过程,模拟的站点分别为京唐港站、曹妃甸站、塘沽站和黄骅站。黄骅站的天文潮模拟情况见图1。京唐港站模拟天文潮的平均绝对误差为19.7 cm,曹妃甸站误差为21.4 cm,塘沽站误差为23.3 cm,黄骅站误差为23.6 cm,模型模拟的天文潮与调和分析的结果相位重叠好,模拟潮位的误差合理。

采用精细化风暴潮数值模型,对产生重大风暴潮灾害的数次台风风暴潮过程(6005、7203、9711、0509、1410、1909)和温带风暴潮过程(20031011、20090213、20090415、20130320、20151107、20161022)进行了数值模拟。从模拟结果可以看出(见图2和表1),黄骅沿海高分辨率非结构网格的风暴潮模型可以较好

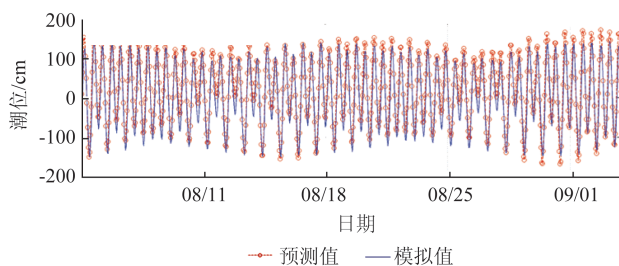


图1 黄骅站天文潮模拟与调和分析结果对比

Fig.1 Comparison of astronomical tide simulation and harmonic analysis results at Huanghua station

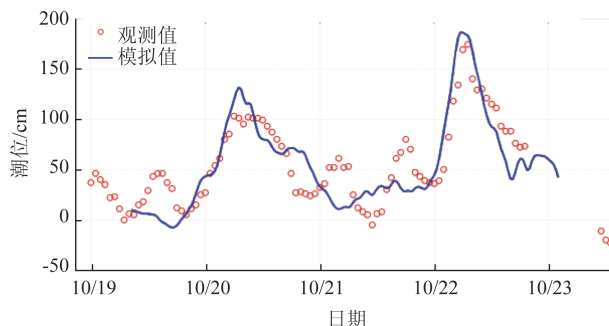


图2 黄骅站风暴潮计算值与观测值比较

Fig.2 Comparison of calculated and observed storm surge values at Huanghua station

表1 黄骅站风暴潮计算值与实测值的误差统计分析表

Tab.1 Statistical analysis of the error between calculated and measured storm surge values at Huanghua station

过程 编号	实测最大 增水/cm	模拟最大 增水/cm	绝对误差 /cm	相对误差 /%
9711	245	188.4	56.6	23.1
509	134	107.5	26.5	19.8
1410	73	71.2	1.8	2.4
1909	233	188.6	44.4	19.1
20031011	233	208.4	24.6	10.6
20090213	164	171.8	7.8	4.8

地刻画风暴潮过程,所建立的风暴潮模式可靠。

(4) 风暴潮灾害危险性评估

综合考虑历史天气过程和当地天文高潮情况,利用建立好的精细化风暴潮漫滩模型,配合当地天文高潮,计算不同等级天气系统影响下的陆地淹没水深和分布。

主要步骤包括:①台风等级的划分。取黄骅沿海400 km范围内历年经过本海区的台风最小中心气压值为进入该区域的热带气旋中心气压年极值序列,采用极值 I 型分布计算千年一遇的台风中心气压值,作为该区域采用的最强台风气压值,根据台风中心气压和风速的关系,最终确定本次风险评估划定的台风等级和风速(见表2)。②温带天气系统的选取。以引起“0311”特大温带风暴潮灾害的温带天气形式作为黄骅市温带风暴潮风险分析的温带天气系统,在此基础上用风速作为不同级别天气系统划分的依据。选择18 m/s、22 m/s、27 m/s、32 m/s和36 m/s风速作为5档天气系统划分标准。③台风路径的确定。选取1949年以来登陆河北最强的7203号“Rita”台风路径为基础平移,每隔1/4R(R取60 km)生成一条台风路径,从这些路径中寻找一条对黄骅市影响最为严重的路径。计算得出以7203号“Rita”台风原路径向南偏移1.75R的路径为最有利于黄骅市沿海风暴增水的台风路径。④天文潮的叠加。选取黄骅潮位站连续19 a(2000—2018年)月最高天文潮10%超越概率高潮位作为天文潮位,用以叠加台风风暴潮情况。

利用ADCIRC模式进行风暴潮淹没计算,分别

得到各类台风强度等级下可能的最大淹没深度与分布范围,并以此对风暴潮淹没开展危险性分析。依据淹没深度大小,将风暴潮灾害危险性划分为4个等级(见表3)。

表2 风暴潮风险评估台风等级划分标准

Tab.2 Typhoon classification criteria for storm surge risk assessment

台风级别	一级	二级	三级	四级	五级
中心气压/hPa	955	965	975	985	995
风速/(m/s)	46	40	34	28	20
最大风速半径/km	50	55	60	70	80
重现期/a	1000	200~500	50~100	10~20	2~4

表3 风暴潮危险性分级表

Tab.3 Risk classification of storm surge

危险性等级	淹没水深/cm	影响实例
I	[300, +∞)	需2楼以上避难
II	[120 ~ 300)	人员伤亡增多
III	[50 ~ 120)	行走困难,有人员伤亡
IV	[15 ~ 50)	有财产损失

2.2 风暴潮灾害风险评估区划

风暴潮灾害脆弱性评价采用定性评价方法,即以土地利用二级分类作为风暴潮灾害脆弱性评价指标,对评估区域进行定性脆弱性等级划分^[9]。脆弱性等级分为4级,每个级别对应于具体的土地利用类型。若评估单元内有重要的承灾体,或者有因风暴潮灾害产生严重次生灾害的承灾体,根据实际情况调整脆弱性等级,依靠ArcGIS软件的数据管理和可视化功能,利用分级色彩表示各土地利用类型的脆弱性等级,得到黄骅市土地利用脆弱性区划图。

依据黄骅市风暴潮危险性和脆弱性评估结果,基于区域灾害系统理论的计算方法评价风暴潮灾害风险性。风暴潮风险评估采用公式^[10]:

$$R = H \times V \quad (1)$$

式中,R代表风险等级;H代表危险性;V代表脆弱性。H依据选择的台风或温带天气系统下计算得到

的风暴潮危险性值,取4级。 V 由承灾体脆弱性决定,取4级。将风险等级(R)划分为高风险区($1 \leq R \leq 2$)、较高风险区($3 \leq R \leq 6$)、较低风险区($8 \leq R \leq 9$)和低风险区($12 \leq R \leq 16$)。依据风险评估结果,以沿海社区(村)为基本单元,综合考虑了河北省海洋功能区划、行政界线和风险大小的同质性等因素,将风暴潮灾害风险区划分为高风险区(I级)、较高风险区(II级)、较低风险区(III级)和低风险区(IV级)4级。

3 风暴潮灾害危险性评估

在考虑风暴潮和近岸浪导致的海堤溃堤过程的基础上,通过数值模拟计算得出风暴潮最大淹没范围、淹没深度以及可能的海堤损毁情况。

从历史风暴潮数据看,海堤损毁没有预想的严重,主要以防浪墙损毁为主。基于损害发生的客观情况,我们按照表4来评估海堤损毁情况的种类和对应的损毁条件。

表4 海堤损毁条件表

Tab.4 List of dyke damage conditions

海堤损毁程度	损毁条件(单位:m, A 为设计潮位)
无损坏	实际潮位 $< 1.2 \times A$, 且实际爬高 $< \text{堤顶高程} + 0.6$
防浪墙损毁	$1.2 \times A \leq \text{实际潮位} < 1.6 \times A$, 且 $0.6 \leq \text{实际爬高} < \text{堤顶高程} + 1.5$
海堤严重损毁	实际潮位 $\geq 1.6 \times A$, 且实际爬高 $\geq \text{堤顶高程} + 1.5$

3.1 台风风暴潮

对于台风风暴潮过程,在985 hPa及以下强度的台风影响下,沿岸不会出现漫堤,海堤后方不会

发生淹没。在975 hPa强度影响下,沿岸开始出现轻微漫堤,海堤后方发生小面积淹没,淹没水深不大,岐口—西高头以及后徐家堡—冯家堡一带海堤出现了轻微漫堤,堤后出现了小范围淹没,风暴潮危险等级大多在II级以下。在965 hPa及以上强度台风影响下,海堤后方开始出现大面积淹没,淹没水深随着台风强度的增加而逐渐加大。在955 hPa强度台风影响下,黄骅沿岸最高潮位超过海堤堤顶高程1~2 m,大量海水涌入堤后陆域,淹没面积和淹没水深较之前等级有明显扩大,沿岸海堤几乎都有可能出现严重损毁。堤后淹没深入内陆的距离自南向北逐步增加,淹没最远可达海新村—邢庄科村一带区域(见表5)。

3.2 温带风暴潮

温带风暴潮和台风风暴潮危险性评估使用同一套网格,采用中尺度模式的再分析风场驱动模型。在22 m/s及以下强度温带天气过程影响下,沿岸不会出现漫堤,海堤后方不会发生淹没。在27 m/s强度温带天气过程影响下,沿岸开始出现轻微漫堤,漫堤主要集中在北部的岐口—西高头;南部冯家堡一带堤后陆域出现小面积淹没,淹没水深不大,风暴潮危险等级基本都在III级以下。在风速18 m/s、22 m/s和27 m/s强度温带天气过程影响时,考虑海堤的溃决作用与不考虑海堤溃决情况一致,淹没区域没有变化。当风速达到32 m/s和36 m/s时,海堤后方都会出现大范围的淹没,大部分风暴潮危险等级为II级,黄骅港区完全被淹没,风暴潮危险等级达到II级以上,风暴潮危险性等级较高。在风速36 m/s情况下,堤后危险性I级的区域相应增大,淹没水

表5 一级台风强度(955 hPa)影响下淹没统计

Tab.5 Inundation statistics under the influence of the first-level typhoon intensity (955 hPa)

淹没水深等级	淹没面积/km ²	主要区域
I级危险 > 3.0 m	81	黄骅市沿海海堤以外
II级危险 1.2~3.0 m	449	管养场水库、南大港水库、闫家房子、小郭庄与海堤之间区域、黄骅港全域
III级危险 0.5~1.2 m	222	管养场水库向西至兴港路、搬倒井村、小司庄村至邢庄科村、小郭庄村、中疏港路至铁路等
IV级危险 < 0.5 m	77	向西淹没区域

深随着台风强度的增加而逐渐加大,北部的淹没范围达到了高口村一方庄村一带,南部的淹没范围达

到了前苗村—东辛庄村一带,淹没深度在1.2~3.0 m之间(见表6)。

表6 十二级(36 m/s)温带天气系统强度影响下淹没统计

Tab.6 Inundation statistics under the influence of the intensity of the 12th level (36 m/s) extratropical weather system

淹没水深等级	淹没面积/km ²	主要区域
I 级危险 >3.0 m	166	黄骅市沿海海堤以外及靠近海堤的村、黄骅部分区域
II 级危险 1.2~3.0 m	652	虎狼庄村、孔家庄村、王肖庄村、六里灶村、荆庄科村、海丰村与海堤之间区域、黄骅港区域
III 级危险 0.5~1.2 m	214	周青庄村、十里河村、刘官庄村、大郭庄村、大左庄村周围区域
IV 级危险 <0.5 m	114	向西淹没区域

4 风暴潮灾害风险评估与区划

4.1 脆弱性分析

黄骅市存在两个分布面积较大的高脆弱性(I级)区域,分别位于中捷产业园区沿海区域和黄骅港区域。黄骅市设施农用地、公园与绿地以及风景名胜设施用地等较低脆弱性(III级)承灾体数量较小,因此黄骅市境内的III级脆弱性面积较小。除上述区域外,黄骅市大部分区域的承灾体对风暴潮灾害的承载能力较高,属于低脆弱性(IV级)区域。黄骅市I级、II级、III级和IV级的脆弱性面积分别为564.72 km²、51.28 km²、51.60 km²和1 537.29 km²,占黄骅市总面积的比例分别为25.6%、2.3%、2.3%和69.7%,IV级脆弱性面积最大,也就是说,黄骅市大部分区域的承灾体对风暴潮灾害的抗击能力相对较强。

4.2 台风风暴潮

黄骅市风险区面积随台风强度的增大而增大,在995 hPa、985 hPa、975 hPa、965 hPa、965 hPa(溃堤)、955 hPa和955 hPa(溃堤)7种情况下,黄骅市风险区面积分别为36.58 km²、62.29 km²、139.11 km²、491.80 km²、573.47 km²、843.79 km²和879.02 km²。在风险级别方面,995 hPa、985 hPa和975 hPa下风险等级主要为III级;965 hPa和965 hPa(溃堤)情况下,I、II、III、IV级面积相当;955 hPa和955 hPa(溃堤)情况下,I级和III级面积较大。受台风风暴潮影响的区域包括黄骅港、新村回族乡、南排河镇、羊三木回族乡、南大港农场、中捷友谊农场和吕桥镇。

4.3 温带风暴潮

温带风暴潮风险区面积随温带天气系统风速的增大而增大,18 m/s、22 m/s、27 m/s、32 m/s、32 m/s(溃堤)、36 m/s和36 m/s(溃堤)7种情况对应的风险区面积分别为42.69 km²、57.09 km²、102.25 km²、644.74 km²、699.89 km²、1 153.59 km²和1 184.54 km²。32 m/s和32 m/s(溃堤)天气系统情况下,I~III级风险区面积相当,IV级风险区面积最大。36 m/s和36 m/s(溃堤)天气系统情况下,III级风险区面积最大,I级次之,II级最小。受温带风暴潮影响的乡镇与台风风暴潮一致。

对比台风风暴潮和温带风暴潮风险评估结果可见,温带风暴潮灾害风险区面积比台风风暴潮大。对于最严重的台风风暴潮,黄骅市的风险区面积为879.02 km²,其温带风暴潮的风险区面积为1 184.54 km²。南排河镇和新村回族乡两种风暴潮灾害造成的风险区面积相当,然而对于其他邻海或近海乡镇,如旧城镇、南大港农场、中捷友谊农场和羊三木回族乡,温带风暴潮造成的风险性灾害面积均大于台风风暴潮。

4.4 风暴潮灾害风险区划

风暴潮灾害风险区划以社区(村)评估结果为依据,当同一个社区(村)分布有两个风险等级时,取高风险等级;评估单元大部分有淹没时,按照评估等级划定风险等级;评估单元有零星淹没且等级较低的,可不划定风险等级。据此,本文最终形成黄骅市风暴潮灾害风险区划(见表7)。

表 7 黄骅市沿海社区(村)风暴潮灾害风险区划
Tab.7 Storm surge disaster risk zoning in coastal communities (villages) in Huanghua City

风险等级	乡镇数	分布区域
I 级	32	南排河镇:大辛堡村、东高头村、关家堡村、海丰村、后范村、后唐村、后徐村、季家堡村、贾家堡村、李家堡村、刘家堡村、歧口村、前唐村、前徐村、沈家堡村、苏东村、小辛堡村、辛立灶村、张巨河村、赵家堡村 南大港农场:盐场 新村回族乡:冯家堡村、新村、沿海区 羊二庄回族乡:大孙庄村、沧盐集团、刘洪博村、黄骅市盐场、羊二庄镇、渔沟村 中捷友谊农场:大丰庄村、中捷石化集团、中捷盐场
II 级	1	羊二庄回族乡:齐庄村
III 级	19	吕桥镇:管养场、下堡村、周东村、周西村 南大港农场:八大队、第二虾场、二队、管理区、红海村、南大港湿地、三大队、三队、尚庄大队、五大队 中捷友谊农场:沧州临港海辰水产养殖有限公司、刘官庄村、十队、七队村、总场部
IV 级	24	黄骅镇:后苗村、沈庄村 吕桥镇:大王庄村、高口村、河北村、孙正庄村、王大本村、郑口村 南大港农场:小辛庄大队 齐家务乡:杨官庄村 羊二庄回族乡:八里庄村、大左庄村、东辛庄村、海丰镇村、后街村、马庄村 羊三木回族乡:刘皮庄村、三虎庄村、羊四村、羊一村 中捷友谊农场:大郭庄村、六里灶村、唐洼村、十八队

5 结论与建议

5.1 结论

(1)本文以河北沿海风暴潮灾害为例,利用 ADCIRC 建立了高分辨率风暴潮漫滩模型,选取典型风暴潮过程进行模拟验证,计算模拟了不同等级天气过程影响下的淹没范围及水深分布,对台风风暴潮及温带风暴潮危险性进行了分级,综合承载体脆弱性评估数据进行了风暴潮风险评估与区划,为当地灾害防治、应急疏散、防灾减灾、产业布局 and 区域发展规划提供了技术参考。

(2)通过多工况风暴潮数值计算可知,955 hPa(溃堤)工况台风风暴潮和十二级 36 m/s(溃堤)工况温带风暴潮影响范围最大,淹没范围最广。十二级 36 m/s(溃堤)工况温带风暴潮影响面积最大,为 1 184.54 km²,易遭受风暴潮影响的地区包括黄骅港、新村回族乡和南排河镇等地。

5.2 建议

(1)根据上述结论,我们认为在黄骅沿海地区,

需要加强海堤建设和维护,提升防洪御潮体系,增强各海堤特别是歧口村及其以南岸段海堤的防冲刷能力;入海河流两侧的堤防工程有待完善,局部地段高程需要加高,由于风暴潮发生时都伴有强降雨,因此需要做好向陆一侧的排水工作。

(2)本文构建的风暴潮预测模型及计算结果考虑了多重不利因素的叠加,具体评估的风险区范围可能会偏大,有待在今后的工作中结合实际情况进行进一步修正。

参考文献:

[1] 俞海洋. 沧州市沿海风暴潮灾害风险评估[C]//第二届中国沿海地区灾害风险分析与管理学术研讨会论文集. 海口: 中国灾害防御协会风险分析专业委员会, 2014: 5.
YU H Y. Coastal storm tide disaster risk assessment in Cangzhou city[C]//Proceedings of the Second Symposium on Disaster Risk Analysis and Management in Chinese Littoral Regions. Haikou: Risk Analysis Committee of China Disaster Prevention Association, 2014: 5.
[2] 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.
SHI X W, TAN J, GUO Z X, et al. A review of risk assessment of

- storm surge disaster[J]. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(8): 866-874.
- [3] 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.
- [4] 于福江, 仇天宇, 李本霞, 等. 我国首份海洋灾害风险评估区划图问世[N]. *中国海洋报*, 2008-01-04(04).
- YU F J, JI T Y, LI B X, et al. China's first marine disaster risk assessment zoning map came out[N]. *China Ocean News*, 2008-01-04(04).
- [5] 张玉红. 风暴潮灾害风险评估及区划管理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- ZHANG Y H. Risk assessments on storm surge and coastal zoning management[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [6] 郑君. 风暴潮灾害风险评估方法及应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- ZHENG J. Risk assessment of storm surge and it's application[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [7] 林林茂. 基于ADCIRC模式的台风风暴潮数值模拟与危险性分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- LIN L M. Numerical simulation and hazard analysis of typhoon storm surge based on ADCIRC model[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [8] HOLLAND G J. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes[J]. *Monthly Weather Review*, 1980, 108(8): 1212-1218.
- [9] 中华人民共和国自然资源部. HY/T 0273-2019 海洋灾害风险评估和区划技术导则 第1部分: 风暴潮[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- Ministry of Natural Resources, People's Republic of China. HY/T 0273-2019 Technical directives for risk assessment and zoning of marine disaster—Part 1: storm surge[S]. Beijing: China Standard Press, 2020.
- [10] 国家海洋局. 风暴潮灾害风险评估和区划技术导则[Z]. 北京: 国家海洋局, 2015.
- State Oceanic Administration. Guideline for risk assessment and zoning of storm surge disaster[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2015.

Research on the risk assessment and zoning of storm surge in Huanghua City

DING Yurong¹, WANG Shibin², LIU Shichao³, LIU Youcai¹, WANG Ping¹

(1. Hebei Province Hydrogeology Survey Institute, Shijiazhuang 050021, China; 2. The Fourth Hydrogeological Team of Hebei Geology and Mineral Bureau, Cangzhou 061000, China; 3. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Taking the coastal area of Huanghua City as the research object, the ADCIRC model is used to establish a typhoon and extratropical storm surge inundation numerical model, and to evaluate the risk of storm surge disaster under different working conditions. Combined with the vulnerability analysis of disaster-bearing body, the risk assessment and zoning research of storm surge disaster is carried out in this paper. The risk assessment results show that under the influence of typhoon storm surge with the level of 965 hPa and 955 hPa and extratropical storm surges with wind speeds of 32 m/s and 36 m/s, coastal towns are damaged to varying degrees, and the risk of extratropical storm surges is greater than that of typhoon storm surges. The high-risk areas in Huanghua City are mainly distributed in Nanpaihe Town, Xincun Hui Ethnic Township, and Huanghua Port. The working condition with the highest risk is the dyke break caused by extratropical storm surge with the level of 12 m/s and 36 m/s. Under that condition, the storm risk area is 1 184.54 km², of which Huanghua Port and Xincun Hui Ethnic Township have the largest risk area of level I, followed by Nanpaihe Town, Luqiao Town, Yangsanmu Hui Township, Zhongjie Friendship Farm, Nandagang Farm, while the other townships have lower risk.

Key words: storm surge disaster; risk; vulnerability; risk assessment; zoning; Huanghua City