

基于情景模拟的天津市滨海新区2020年 暴雨内涝风险评估

胡蓓蓓¹, 周 俊², 王 军³, 许世远³, 孟伟庆¹

(1. 天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300387; 2. 天津市控制地面沉降工作办公室, 天津 300061;
3. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 基于多灾种复合动态风险评估理论, 依据滨海新区2020年人口规划、土地利用规划以及社会经济发展计划, 根据地面沉降和海平面上升预测结果设计了最不利、适中和最理想化三种情景; 在此基础上, 自行开发了基于GIS的洪水淹没区计算模块, 模拟计算不同重现期暴雨内涝的淹没范围、淹没深度及淹没损失。结果表明: 2020年, 发生1 000 a一遇、200 a一遇和50 a一遇暴雨时, 在最不利的情景一下: 天津市滨海新区分别将有32.73%、29.34%和26.01%的土地不同程度受淹, 受淹人口分别为338万、305万和264万, 淹没损失分别达220.89亿元、181.39亿元和139.12亿元。

关键词: 天津市滨海新区; 暴雨内涝; 情景模拟; 风险评估

中图分类号: X43 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)07-0846-07

党的十六届五中全会和十届全国人大四次会议将推进天津市滨海新区开发开放纳入国家总体发展战略布局, 标志着滨海新区进入了一个新的发展阶段^[1]; 滨海新区是继深圳经济特区、浦东新区之后, 又一带动区域发展的新的经济增长极^[2]。但是由于本区地处中纬度大陆边缘季风气候区, 天气过程复杂, 冷暖空气交汇频繁; 加之本区地势平坦低洼, 暴雨极易造成内涝灾害, 不仅严重危及城市居民的日常生活, 还会给城市带来巨大的经济损失^[3]。近30 a来, 中国沿海海平面天津沿岸上升最快, 为20 cm^[4], 天津市滨海新区也是中国地面沉降最为严重的区域; 海平面上升的灾害效应以及地面沉降的持续影响, 将进一步加剧沿海地区内涝灾害的严峻局势^[5-7]。随着城市人口、经济快速发展, 灾情的“放大”作用将更为显著^[8,9]。

国内外有关沿海自然灾害风险评估大多针对单灾种^[10,11], 而对沿海城市自然灾害多灾种复合风险评估研究较少, 自然灾害风险评估研究的重要趋势是强调风险的动态和综合评估^[8]。本文根据滨海新区土地利用规划以及社会经济发展计划,

依据地面沉降和海平面上升预测结果设计最不利、适中和最理想化三种情景, 动态评估2020年当年三种情景下不同重现期暴雨内涝风险。

1 研究区概况

天津市滨海新区位于北半球中纬度欧亚大陆东岸, 受海洋气候影响较小, 受西部季风影响较强, 属暖温带半湿润季风大陆性气候。主要气候特征是: 春季干燥多风, 夏季湿热多雨, 秋季温暖适中, 冬季寒冷少雪。

夏季副热带高压强大且位置北移, 致使天津市滨海新区受热带海洋气团影响, 造成天气炎热潮湿; 同时北方冷空气活动频繁, 冷暖空气相遇极易形成暴雨、洪水。每年7月中旬到8月中旬, 副热带高压脊线到达30°N附近, 滨海新区雨量集中, 暴雨频繁; 此时, 登陆北上的台风也时常影响该区, 出现大风暴雨, 造成暴雨洪水或风暴潮灾害。此外, 天津滨海新区地处海河流域最下游, 华北平原东部, 渤海湾西岸, 地势平坦低洼, 逢暴雨极易出现内涝灾害。加之该区是中国海平面上升最快

收稿日期: 2011-08-09; **修订日期:** 2011-10-12

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730526)、天津市高等学校人文社会科学研究一般项目(20092117)、天津师范大学博士基金(52X09019)、天津市自然科学基金重点项目(11JCZDJC24500)资助。

作者简介: 胡蓓蓓(1979-), 女, 江苏溧阳人, 博士, 讲师, 主要从事生态环境与灾害风险研究。E-mail: hubeibei0328@163.com

的区域,也是国内外地面沉降较为严重的区域之一,地面沉降给排水、地下管道、海河泄洪等城市基础设施造成危害,导致排涝能力减弱,内涝灾害成灾风险加大^[12-14]。

天津市滨海新区规划面积2 270 km²,2009年,滨海新区户籍人口118.57万人,常住人口230.17万人;2009年实现地区生产总值3 810.67亿元^[15]。《天津市滨海新区城市总体规划(2005~2020年)》^①确定:规划到2020年,滨海新区常住人口规模为300万人,其中城镇人口规模为290万人,滨海新区核心区域城镇人口规模为160万人左右;城镇建设用地规模510 km²,其中滨海新区核心区规划面积270 km²,城镇建设用地面积166 km²。《天津滨海新区空间发展战略》^②通过对相关经济指标和水资源承载力两种方法预测了滨海新区2020年人口总数分别为410万和593万。在后述情景设计中对于2020年人口规模,本文选择600万。《天津市滨海新区城市总体规划(2005~2020年)》确定:规划到2020年,天津市滨海新区生产总值为10 000亿元。

2 不同频率暴雨强度计算及其空间插值

天津市平原地区农田排涝绝大部分为机排,单站控制面积不超过300 km²,根据《水利动能设计手册治涝分册》,在中国华北平原面积为100~500 km²的排水区,洪峰流量主要由一日暴雨形成^[16];天津市在一次暴雨过后的3 d内,发生下一次暴雨过程的机率仅为4%,按现有排水能力,通常在1 d之内,最多2 d,可以将积水排净^[17,18]。综合以上分析成果,因此选择最大24 h暴雨量来研究天津市滨海新区暴雨内涝问题。

滨海新区有9个水文站:蔡家堡站、宁车沽站、新防潮闸站、海河闸站、工农兵闸站、马圈闸站、万家码头站、调节闸站和南山岭站。为了提高分析精度,本次研究还选择了区外5个比较靠近的水文站:宁河的板桥站,东丽的金钟河闸站,津南的小站站,以及静海的蔡公庄站和大庄子站(图1)。

由《天津市水文手册第一册——暴雨图集》^③查得最大24 h暴雨统计参数,得出各站最大24 h降水的均值、变差系数Cv及偏态系数Cs,由此运

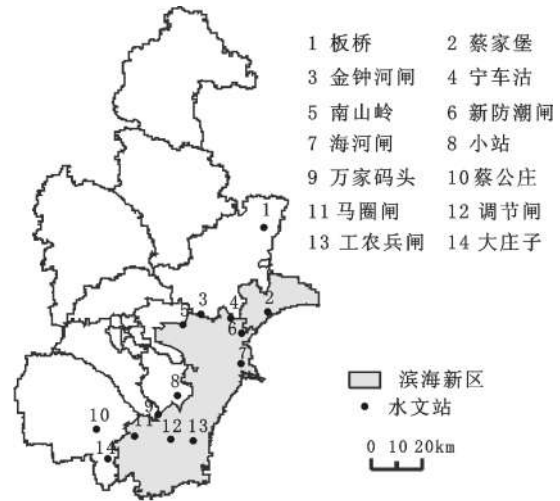


图1 水文观测站分布

Fig. 1 Locations of the hydrological stations

用皮尔逊III型曲线法计算出不同频率下最大24 h设计雨量:滨海新区9个水文观测站,大体上不同频率年最大24 h暴雨强度工农兵闸>海河闸>蔡家堡>调节闸>新防潮闸>宁车沽>万家码头>南山岭>马圈闸,各站相差较大,各频率工农兵闸年最大24 h暴雨强度均为马圈闸的1.4倍左右;空间分布上,距海越近暴雨强度越大,而距离相近时暴雨强度自北向南增大^[14]。

空间化的降水信息对于区域水文、水资源分析和区域水资源管理、旱涝灾害的预测和管理以及生态环境治理都具有重要意义。降水的形成和分布是一个复杂的过程,影响降水的因素很多,准确获得某个区域的降水量,无论从理论上还是实际上都不现实,唯有对区域内有限的观测站点的降水数据进行插值,才能获取整个区域的降水量。根据已知气象数据对未知点进行插值预测是20世纪以来地理科学研究的一个热点^[19-21]。

运用IDW和DK法分别对滨海新区不同频率暴雨强度进行空间插值,交叉检验结果显示:平均相对误差绝对值IDW大于DK,且相差较大;而平均绝对误差和均方根误差IDW都小于DK,但相差不大。两种方法所得结果基本都能反映出滨海新区不同频率下年最大24 h暴雨量的空间分布格局:总体上东南部暴雨强度大,而西部距海较远暴雨强度相对较小;暴雨量强度最大地区位于工农

① 天津市城市规划设计研究院. 天津市滨海新区城市总体规划(2005~2020年),2006.

② 天津市城市规划设计研究院. 天津滨海新区空间发展战略,2008.

③ 天津市水利局.《天津市水文手册第一册——暴雨图集》,2002-12.

兵闸附近,而最小地区位于马圈闸附近。DK法插值的曲线较IDW法平滑,因此最终选取DK空间插值结果^[14]。

考虑下渗和地表径流等导致雨量损失的因素,需将设计暴雨量通过研究区各排水小区多年经验径流系数转化为径流深度,滨海新区各排水小区径流系数参见《天津市滨海新区排水规划》^①;用上述DK法求得的结果在ArcGIS中与各小区径流系数进行栅格运算,计算得到各栅格径流深度。各栅格径流深度乘以栅格面积得到每个栅格的径流量,将各栅格径流量相加求和得到径流总量。根据径流总量与地面汇流区域的积水量相等的原理来模拟汇流的区域(即淹没区)和区域内每个栅格的淹没高度^[22]。

3 天津市滨海新区暴雨内涝风险评估

3.1 淹没区和淹没损失计算模型

1) 淹没区分析。基于GIS建立洪水淹没区计算模型,即:基于数字高程模型(DEM),采用栅格图像种子蔓延算法,计算给定洪水水位或给定洪量条件下的淹没区,并将结果可视化。按“水平面”确定淹没范围,是一个求取淹没区的近似方法,更精确的淹没区计算还需考虑淹没过程的水动力学模拟和水面形状变化问题。但是,“水平面”近似方法实用、便捷,又能较快地与受淹区的现状数据进行叠置分析,具有较大的实际意义^[23-26]。本研究运用C# + ArcEngine 9.3在SimpleGIS平台下开发无源淹没、有源淹没等插件,具体程序见《天津市滨海新区主要自然灾害风险评估》附件^[14]。

2) 淹没水深计算。给定洪水水位下的淹没分析,洪水淹没水深是由水位和单元地面高程共同决定的,计算公式为^[24,27]:

$$W = H - E \quad (1)$$

式中, W 为单元水深; H 为水位; E 为单元高程。

给定洪量条件下的淹没分析,在所述洪水水位分析方法的基础上,通过不断给定洪水水位 H 条件,求出对应淹没区域的容积 V 与洪量 Q 的比较,利用二分法等逼近算法,求出 Q 最接近的 V , V 对应的淹没范围和水深分布即为淹没分析结果。

3) 淹没损失计算。冯平等^[28]研究了不同水深天津市滨海新区分类资产洪灾损失率的平均状况(表1)。根据表1可以计算出不同淹没水深九种社

会资产的平均损失率为:水深0~0.5 m损失为2.44%,0.5~1.5 m损失为6%,1.5~3.5 m损失为12.33%,大于3.5 m损失为22.22%。其他损失仍按全区损失的10%计算。

表1 不同水深社会资产损失率(%)

Table 1 Social asset loss rate with the different submerge depth (%)

分类资产	水深(m)			
	0~0.5	0.5~1.5	1.5~3.5	>3.5
工商业固定资产	5	5	7.5	10
工商业流动资产	5	10	15	20
商业库存物资	1	3	7	10
建筑业资产	1	3	7	15
通讯系统	1	3	7	15
居民财产	2	10	30	50
居民住宅	2	10	20	45
交通供水等基础设施	0	5	10	25
个体企业	5	5	7.5	10
其他损失(含防灾救灾费用、公共事业等)	以全区损失的10%计算			

3.2 2020年暴雨内涝风险评估

对于2020年不同频率的暴雨其发生概率由下式计算^[29]:

$$P_{\text{Probability}} = 1 - (1 - F_{\text{Frequency}})^t \quad (2)$$

式中, $P_{\text{Probability}}$ 是发生概率; $F_{\text{Frequency}}$ 是频率,本文选择了0.1%(1 000 a一遇),0.5%(200 a一遇)和2%(50 a一遇)三种发生频率; t 为时间(a),以2011年为基准年至2020年 t 为9 a;计算可得,1 000 a一遇的暴雨2020年的发生概率为0.90%;200 a一遇的暴雨2020年的发生概率为4.41%;50 a一遇的暴雨2020年的发生概率为16.63%。

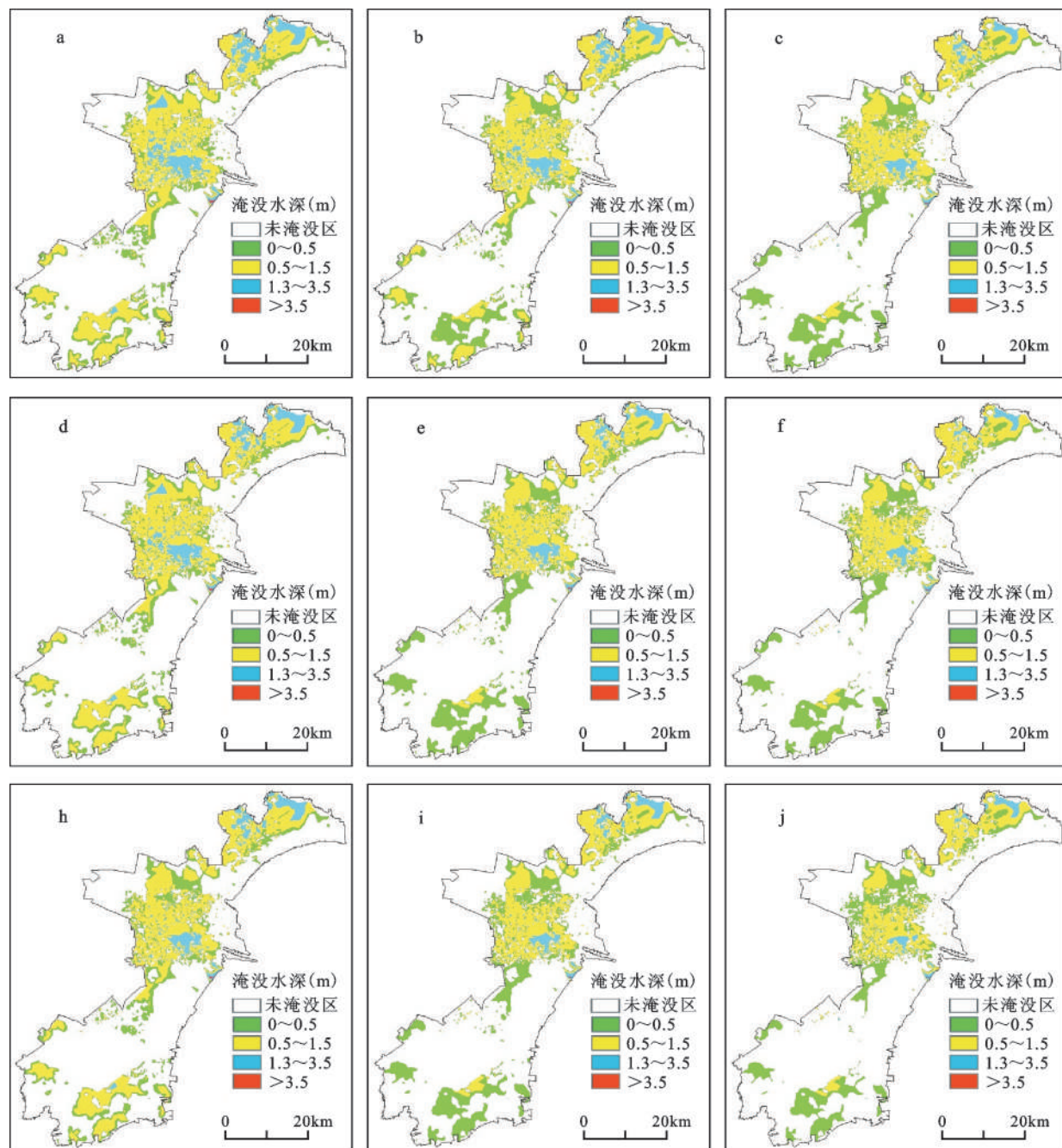
2020年天津市滨海新区暴雨内涝风险不仅受到暴雨强度的影响,也会受到地面沉降以及海平面上升的影响;本文综合考虑这几方面的影响,结合滨海新区规划动态评估2020年天津市滨海新区暴雨内涝风险。周俊等^[12,13]预测了2020年天津市滨海新区地面沉降情况:2007~2020年,在最不利、适中和最理想三种方案下,天津市滨海新区最大累计沉降量分别达640、520和150 mm;全区平均累计沉降量分别达268、177和95 mm。采用《2006年中国海平面公报》提到的近30 a来天津沿海海平面平均上升速率2.2 mm/a,《2008年中国海平面公

① 天津市水利勘测设计院.天津市滨海新区排水规划,2007-8.

报》算得的未来30 a平均上升速率极大值5 mm/a以及介于两者中间的平均上升速率3.6 mm/a分别来预测2020年天津市沿海海平面上升幅度^[14],依次约为:29、47和65 mm。考虑这两种因素的影响,2020年滨海新区DEM变化有三种情景:由1:1万地形图提取高程点,并通过实地调查利用GPS定位插补高程点数据,将两者合并空间插值形成2007年的DEM;情景一,按照地面沉降最不利预

测方案以及海平面上升65 mm对2007年DEM进行修正;情景二,按照地面沉降适中预测方案以及海平面上升47 mm对2007年DEM进行修正;情景三,按照地面沉降最理想预测方案以及海平面上升29 mm对2007年DEM进行修正。在此基础上,分别对这三种情景下不同重现期暴雨淹没范围、水深和损失进行计算和模拟(图2)。

根据洪水淹没深度将滨海新区暴雨内涝灾害



a、b、c情景一;d、e、f情景二;h、i、j情景三;a、d、h 1 000 a一遇淹没水深;b、e、i 200 a一遇淹没水深;c、f、j 50 a一遇淹没水深

图2 2020年不同重现期年最大24 h暴雨淹没深度

Fig. 2 Spatial distribution of submerged depth of torrential rain with the different return periods in 2020

危险程度划分为5个等级,其中:0 m以下的未淹没区为第1级,表示无危险区;0~0.5 m为第2级,表示低危险区;0.5~1.5 m为第3级,表示中危险区;1.5~3.5 m为第4级,表示较高危险区;3.5 m以上为第5级,表示高危险区。图2看出:塘沽和汉沽暴雨内涝受淹土地所占比例较大,而大港较小;水深1.5~3.5 m的淹没区主要集中在塘沽城区、汉沽城区、汉沽杨家泊镇、大田镇、茶淀镇和营城镇,为较高危险区;水深大于3.5 m的淹没区所占面积很小,位于塘沽的大沽街,为高危险区。

通过自编程序将三种情景不同重现期年最大24 h暴雨淹没深度图分别在2020年天津市滨海新区土地利用/土地覆被分类图上进行空间展布,得出三种情景不同淹没水深淹没各种土地利用类型的面积,根据不同淹没水深损失率计算出淹没损失。

情景一下:2020年天津市滨海新区1 000 a一遇暴雨发生概率为0.9%,发生1 000 a一遇暴雨时,该区将有32.73%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为56.36%,按预测的人口规模600万计算将有338万人口受淹;按预测的GDP10 000亿元,根据损失率计算淹没损失将达220.89亿元。2020年天津市滨海新区200 a一遇暴雨发生概率为4.41%,发生200 a一遇暴雨时,该区将有29.34%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为50.78%,将有305万人口受淹;淹没损失将达181.39亿元。2020年天津市滨海新区50 a一遇暴雨发生概率为16.63%,发生50 a一遇暴雨时,该区将有26.01%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为43.97%,将有264万人口受淹;淹没损失将达139.12亿元。

情景二下:2020年天津市滨海新区发生1 000 a一遇暴雨时,该区将有30.70%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为53.08%,将有318万人口受淹;淹没损失将达199.68亿元。发生200 a一遇暴雨时,该区将有27.47%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为48.24%,将有289万人口受淹;淹没损失将达150.31亿元。发生50 a一遇暴雨时,该区将有24.23%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为41.35%,将有248万人口受淹;淹没损失将达126.03亿元。

情景三下:2020年天津市滨海新区发生1 000 a一遇暴雨时,该区将有29.06%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为49.96%,将有300万人口

受淹;淹没损失将达174.48亿元。发生200 a一遇暴雨时,该区将有25.83%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为44.63%,将有268万人口受淹;淹没损失将达135.29亿元。发生50 a一遇暴雨时,该区将有22.58%的土地不同程度受淹;居住用地淹没比例为37.41%,将有224万人口受淹;淹没损失将达111.53亿元。

同一情景下,暴雨内涝淹没面积、受淹人口和淹没损失1 000 a一遇>200 a一遇>50 a一遇;同一重现期下,暴雨内涝淹没面积、受淹人口和淹没损失情景一>情景二>情景三。

4 结论与展望

风险评估是灾害管理的重要内容,自然灾害风险评估研究的重要趋势是多灾种复合动态评估。本文基于情景模拟和GIS空间分析方法,自行开发洪水淹没区计算模块,对地面沉降和海平面上升复合影响下天津市滨海新区2020年暴雨内涝风险评估做了初步尝试。本研究将为天津市滨海新区制订综合灾害风险管理、防灾减灾措施、接受一定风险水平条件下的可持续发展模式提供理论依据。结果表明:

1) 情景模拟和GIS空间分析为区域多灾种复合动态评估提供了强有力的工具;本研究运用C#+ArcEngine 9.3在SimpleGIS平台下开发的无源淹没、有源淹没插件能快速、准确及科学地模拟洪水淹没范围和淹没水深。

2) 从空间角度分析,如果2020年滨海新区发生暴雨内涝灾害,塘沽和汉沽受淹土地面积较大,而大港较小;塘沽的大沽街暴雨内涝危险最高;塘沽城区、汉沽城区、汉沽杨家泊镇、大田镇、茶淀镇和营城镇暴雨内涝危险较高。

3) 2020年,发生1 000 a一遇、200 a一遇和50 a一遇暴雨时,在最不利的情景1下:天津市滨海新区分别将有32.73%、29.34%和26.01%的土地不同程度受淹,受淹人口分别为338万、305万和264万,淹没损失分别达220.89亿元、181.39亿元和139.12亿元;在适中的情景2下:该区别将有30.70%、27.47%和24.23%的土地不同程度受淹,受淹人口分别为318万、289万和248万,淹没损失分别达199.68亿元、150.31亿元和126.03亿元;在最理想的情景3下:该区别将有29.06%、25.83%和22.58%的土地不同程度受淹,受淹人口分别为300

万、268万和224万,淹没损失分别达174.48亿元、135.29亿元和111.53亿元。

4) 本研究还存在亟待完善之处,包括:风险评估精度有待提高,淹没损失计算主要考虑了淹没水深,而对历时、流速等其它参数并未考虑;另外,本文模拟地面沉降、海平面上升和暴雨内涝的复合影响时,没有考虑三种灾害碰头的概率问题等。笔者将在未来的研究工作中不断加以完善。

参考文献:

- [1] 戴相龙. 用科学发展观统领天津滨海新区的开发开放[EB/OL]. http://www.sdpc.gov.cn/tzgg/zhptggsd/t20061129_96389.htm
- [2] 胡蓓蓓,姜衍祥,周俊,等.天津市滨海地区地面沉降灾害风险评估与区划[J].地理科学,2008,28(5):693~697.
- [3] 权瑞松,刘敏,张丽佳,等.基于情景模拟的上海中心城区建筑暴雨内涝暴露性评价[J].地理科学,2011,31(2):148~152.
- [4] 王大鹏.我国海平面30年升9厘米,天津上升最快上海次之[N].北京晨报,2007-12-02.
- [5] 李加林,王艳红,张忍顺,等.海平面上升的灾害效应研究——以江苏沿海低地为例[J].地理科学,2006,26(1):87~93.
- [6] 龚士良,杨世伦.地面沉降对上海黄浦江防汛工程的影响分析[J].地理科学,2008,28(4):543~547.
- [7] 孙阿丽,石纯,石勇.基于情景模拟的暴雨内涝危险性评价——以黄浦区为例[J].地理科学,2010,30(3):465~468.
- [8] 许世远,王军,石纯,等.沿海城市自然灾害风险研究[J].地理学报,2006,61(3):127~138.
- [9] 石勇,许世远,石纯,等.沿海区域水灾脆弱性及风险的初步分析[J].地理科学,2009,29(6):853~857.
- [10] 史培军.三论灾害研究的理论与实践[J].自然灾害学报,2002,11(3):1~9.
- [11] 黄崇福.自然灾害风险评价理论与实践[M].北京:科学出版社,2005.
- [12] 周俊,杨建图,姜衍祥,等.天津市滨海新区地面沉降经济损失评估[J].中国人口·资源与环境,2010,20(8):154~158.
- [13] 周俊,杨建图,陆阳,等.基于情景分析的天津市滨海新区地面沉降预测[J].地质灾害与环境保护,2010,21(1):92~96.
- [14] 胡蓓蓓.天津市滨海新区主要自然灾害风险评估[D].上海:华东师范大学,2009.
- [15] 天津市统计局.天津统计年鉴(2010)[Z].北京:中国统计出版社,2010.
- [16] 陈守珊.城市化地区雨洪模拟及雨洪资源化利用研究[D].南京:河海大学,2007.
- [17] 解以扬,韩素芹,由立宏,等.天津市暴雨内涝灾害风险分析[J].气象科学,2004,24(3):342~349.
- [18] 代斌.城市化对海河天津段防洪排涝影响的研究[D].南京:河海大学硕士论文,2005.
- [19] 何红艳,郭志华,肖文发.降水空间插值技术的研究进展[J].生态学杂志,2005,24(10):1187~1191.
- [20] 鲁振宇,杨太保,郭万钦.降水空间插值方法应用研究——以黄河源区为例[J].兰州大学学报(自然科学版),2006,42(4):11~14.
- [21] 储少林,周兆叶,袁雷,等.降水空间插值方法应用研究——以甘肃省为例[J].草业科学,2008,25(6):19~23.
- [22] 王林,秦其明,李吉芝,等.基于GIS的城市内涝灾害分析模型研究[J].测绘科学,2004,29(3):48~51.
- [23] 刘仁义,刘南.基于GIS的复杂地形洪水淹没区计算方法[J].地理学报,2001,56(1):1~6.
- [24] 丁志雄,李纪人,李琳.基于GIS格网模型的洪水淹没分析方法[J].水利学报,2004,(6):56~60.
- [25] 张立华,朱庆,暴景阳,等.一种基于数字伴潮海岸线的潮滩淹没区仿真算法[J].武汉大学学报(信息科学版),2007,32(7):637~640.
- [26] 赵庆良,王军,许世远,等.沿海城市社区暴雨洪水风险评价——以温州龙湾区为例[J].地理研究,2010,29(4):665~674.
- [27] 陈靖,李天文,冯丽丽,等. GIS技术在洪水灾害评估中的应用研究——以渭河中下游地区为例[J].西北大学学报(自然科学版),2008,38(4):663~667.
- [28] 冯平,崔广涛,钟昀.城市洪涝灾害直接经济损失的评估与预测[J].水利学报,2001,(8):64~68.
- [29] Gambolati G, Teatini P. GIS Simulations of the inundation risk in the coastal lowlands of the Northern Adriatic Sea[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2002, (35): 963-972.

Risk Assessment on Rainstorm Waterlogging of Tianjin Binhai New Area Based on Scenario Simulation

HU Bei-bei¹, ZHOU Jun², WANG Jun³, XU Shi-yuan³, MENG Wei-qing¹

(1. College of Urban and Environment Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China;

2. Tianjin Land Subsidence Control Office, Tianjin 300061, China; 3. Key Laboratory of Geographic Information Science of Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

Abstract: Natural disaster is the hotspot question in international society and academy. Coastal cities are important areas and strategic focus of people convergence, national economy and society development. However, natural disasters occur easily and frequently in these areas. Tianjin Binhai New Area (TBNA) lies in the center of the Bohai Rim Region. Following the Shenzhen Special Economic Zone and Pudong New Area, TBNA becomes a new polarization of economic development which drives regional growth. Affected by physical-geographical conditions and human activities, however, TBNA is one of the areas where the loss from natural disasters is huge and fatal in the coastal areas in China. In view of the main causing factor, the numerical model of land subsidence was established. With three groundwater extraction scenarios, the computer program was compiled to predict the land subsidence in the process of dynamic changes of groundwater level. Based on the complex dynamic multi-hazard risk assessment theory, in accordance with population planning, land use planning and socio-economic development plan of TBNA, and according to prediction of land subsidence and sea level rise, three scenarios were designed, that was the most unfavorable, moderate, and the most ideal scenarios. Pearson-III distribution method was used to calculate intensity of the different frequency's maximum rainstorms in 24 hours by rainstorm data of the past 40 years at 14 hydrological stations in TBNA and its nearby regions. Inverse distance weight and Disjunctive Kriging method were respectively employed to interpolate the different frequency's maximum rainstorms in 24 hours. The calculation model of flood submerged area was therefore established by GIS. The submerged area and depth were calculated by the module of "non-source flood". On the basis of the loss rate of different submerged depth, the submerged loss was gained. The results showed that, by 2020, under Scenario 1, the submerged area is 32.73%, 29.34% and 26.01%; inundated population accounts for 338×10^4 , 305×10^4 and 264×10^4 ; and the loss of submerged is 220.89×10^8 yuan, 181.39×10^8 yuan and 139.12×10^8 yuan respectively induced by torrential rain with return period of 1 000, 200, and 50 years. Under Scenario 2, the submerged area is 30.70%, 27.47% and 24.23%; inundated population accounts for 318×10^4 , 289×10^4 and 248×10^4 ; and the loss of submerged is 199.68×10^8 yuan, 150.31×10^8 yuan and 126.03×10^8 yuan respectively induced by torrential rain with return period of 1000, 200, and 50 years. Under Scenario 3, the submerged area is 29.06%, 25.83% and 22.58%; inundated population accounts for 300×10^4 , 268×10^4 and 224×10^4 ; and the loss of submerged is 174.48×10^8 yuan, 135.29×10^8 yuan and 111.53×10^8 yuan respectively induced by torrential rain with return period of 1 000, 200, and 50 years.

Key words: Tianjin Binhai New Area; rainstorm waterlogging; scenario simulation; risk assessment