



基于 GIS 的大连市金普新区洪水淹没分析

张 静¹, 倪 金¹, 马诗敏¹, 逯 兰²

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;
2. 辽宁省建筑设计研究院岩土工程公司, 辽宁 沈阳 110166

摘 要: 采用 25 m 分辨率的 DEM 并收集多年洪水位、潮位数据, 以保证源数据的精度和可靠性。结合研究区地貌特征和水系分布, 基于 ArcGIS 的空间分析工具采用种子蔓延法进行了有源淹没分析计算, 得到淹没区范围和水深分布图。结果表明: 淹没区主要分布在水库和河流下游的冲洪积平原和海积平原, 淹没面积共 318.08 km², 占全区陆域面积的 18.6%。洪水淹没深度为 0~7.6 m。以水库为种子点的淹没区域较大, 淹没水深自种子点到海岸线逐渐增大; 以河流为种子点的淹没区域呈带状分布, 淹没水深自河流中线向两侧逐渐减小。

关键词: 洪水淹没; DEM; GIS; 种子蔓延法; 地质灾害; 大连市

GIS-BASED ANALYSIS OF FLOOD SUBMERGENCE IN JINPU NEW DISTRICT, DALIAN CITY

ZHANG Jing¹, NI Jin¹, MA Shi-min¹, LU Lan²

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;
2. Liaoning Provincial Building Design and Research Institute Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shenyang 110166, China

Abstract: The study adopts the digital elevation model (DEM) with 25 m resolution, and collects multiyear flood and tide level data to ensure the accuracy and reliability of source data. Combined with the geomorphic features and water system distribution in the study area, on the basis of ArcGIS spatial analysis technology, the seed spread algorithm is used for calculation of source flood submerge area, which obtains the submerged area and distribution of water depth. The results show that the submerged area is mainly distributed in reservoir, as well as alluvial-diluvial plain and marine plain in lower reaches of river, covering a total area of 318.08 km² and accounting for 18.6% of land area of the whole district. The flood submerged depth is 0–7.6 m, and the submerged area with reservoir as the seed point is large, with the submergence depth gradually increasing from seed point to coastline, while the submerged area with river as the seed point is in zonal distribution, with the submergence depth decreasing gradually from middle line to both sides of river.

Key words: flood submergence; DEM; GIS; seed spread algorithm; geological hazard; Dalian City

收稿日期: 2020-09-11; 修回日期: 2021-11-04. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“大连海岸带陆海统筹综合地质调查”(DD20189504)和“东北地区自然资源综合调查”(DD20211383); 辽宁省自然资源科技创新项目“大连金普新区地下空间开发地质条件适宜性评价方法研究”。

作者简介: 张静(1982—), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事水文地质、工程地质、环境地质方面的研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//maius1222@163.com

0 前言

洪涝灾害是中国较常见一种自然灾害,严重威胁人民群众生命财产安全,危害城市公共设施.2020年入汛以来,中国南方地区多轮强降雨过程,很多城市遭受洪涝灾害,造成巨大的经济损失.因此,快速、科学地预测洪水淹没范围,对防灾减灾、城市规划选址、水利工程建设等具有重要意义.随着GIS技术的不断发展,很多学者以数字高程模型(DEM)为基础,将GIS应用到洪水淹没分析中,并在此基础上开发了多种洪水淹没分析软件.刘仁义等^[1-2]基于GIS对复杂地形洪水淹没区进行了计算;丁志雄等^[3]人提出了给定洪水水位和洪量条件下洪水淹没分析方法;孙君^[4]建立了洪水水位高程与淹没面积之间的关系,并用于洪水淹没快速预测;其他学者应用GIS对多个城市和流域进行了洪水淹没分析^[5-8].本文采用25 m分辨率的数字高程模型,运用GIS的空间分析功能分析金普新区洪水淹没范围并计算淹没水深,以期为城市规划选址、水利工程建设、防洪减灾决策等提供理论依据.

1 研究区概况

金普新区位于辽宁省大连市中南部,西临渤海,东濒黄海,南与大连甘井子区为邻,北与瓦房店市、普兰店市相接.地理坐标东经121°34'—122°05',北纬39°11'—39°31',总面积为2 299.8 km²,其中陆域面积1 709.9 km²,辖27个街道.研究区位于辽东半岛南部,为千山山脉向西南的延伸段,形成渤海与黄海之间丘陵起伏地形,属于构造剥蚀低丘地貌,坡度平缓(图1).区内最高峰为南部的大黑山,海拔646.0 m.该区属于暖温带湿润大陆性季风气候,具有海洋性气候特征,气候温和,四季分明,年平均温度为9.3~10.5℃,多年平均降水量为500~700 mm/a(图2),年内降水量多为7—9月份,降水量约占全年的62%.

金普新区内有大小河流15条,其中流入渤海的有龙口河、三十里河、大魏家河、北大河、五十里河、石河、邓屯河、炮台河、南极河和大沙河;流入黄海的有柳家河、旗杆河、登沙河、青云河、东大河.多数河流发源于金普新区中部的分水岭,河流汇水面积多在20~250 km²,长度10~30 km,多数河流短小,故均无常年水流,属独流入海的季节性河流.区内修建有水库25座,其中中型水库4座,为青云河水库、卧龙水库、鸽子

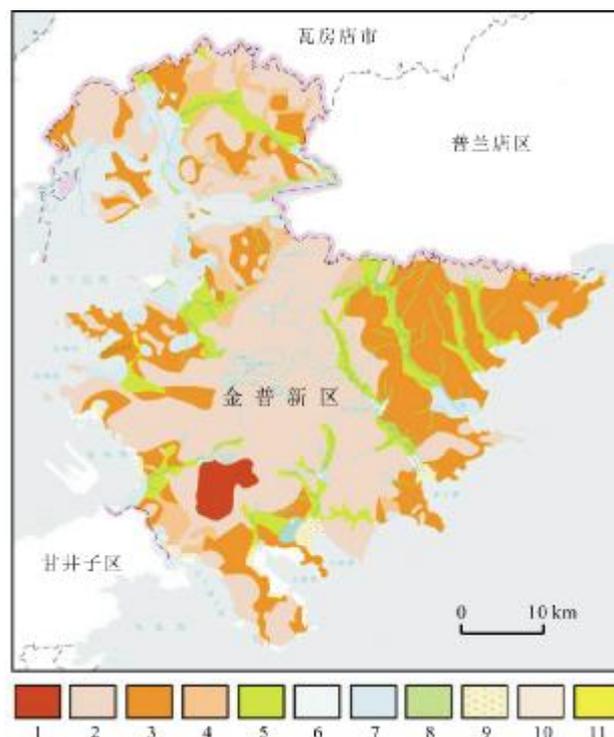


图1 金普新区地貌图

Fig. 1 Geomorphological map of Jinpu New District

1—低山 (low mountain); 2—丘陵 (hills); 3—剥蚀台地 (denudation platform); 4—坡洪积扇裙 (slope diluvial fan apron); 5—冲积、冲洪积平原 (alluvial-diluvial plain); 6—冲海积平原 (alluvial marine plain); 7—海积平原 (marine plain); 8—泥质海岸 (muddy coast); 9—砂砾质海岸 (sandy-gravelly coast); 10—基岩海岸 (bedrock coast); 11—风成沙地 (aeolian sandy land)

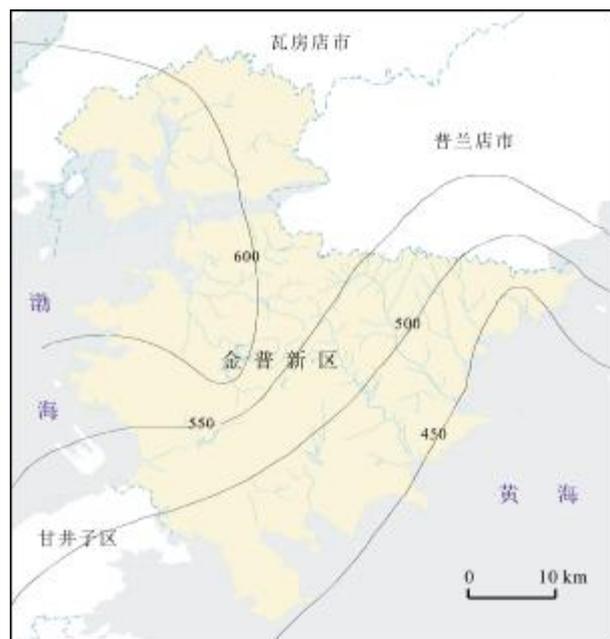


图2 金普新区降雨量等值线图

Fig. 2 Contour map of rainfall in Jinpu New District

塘水库、北大河水库,小型水库 21 座^[9]. 区内只有一座水文站——登沙河水文站,位于登沙河中游.

2 洪水淹没分析方法

2.1 软件支持及数据准备

软件支持:ArcGIS Desktop 10.5,基于 Win10 操作系统.

数据准备:为便于利用 ArcGIS 进行洪水淹没分析,采用 MapGIS 格式高程点和等高线生成 DEM 栅格文件.具体步骤^[10-12]如下.

①文件转换:利用 MapGIS 的“文件转换”功能将高程点、等高线文件转换为 shp 文件;②生成不规则三角形网 TIN:将 shp 文件添加到 ArcMap 10.5 中,选择“3D Analyst”→“Create/Modify TIN”→“Create TIN From Features”,在弹出的对话框中输入要素类选择高程点和等高线文件,即建立了不规则三角形网 TIN;③TIN 转为 DEM 栅格:选择“3D Analyst”→“Convert”→“TIN to Raster”,输入 TIN,设置像元大小 25,得到 25 m 分辨率的 DEM 栅格数据.

2.2 种子蔓延法确定淹没区范围

洪水淹没可分为两种情形:第一种是整个地区大面积均匀降水,任何地势低洼的区域均同时进水,高程低于给定水位的点都计入淹没区域,称为无源淹没,适用于平原地区;第二种是考虑淹没区域的连通性,认为洪水只淹没它能流到的地方,相当于高发洪水向邻域泛滥,如局部暴雨引起洪水漫堤或堤坝溃口后向四周扩散,只有水位高程达到一定程度后,洪水才会越过某一地势高的区域到达洼地,称为有源淹没,适用于丘陵山区.对于环形山,在无源淹没分析中可能导致山内外均被计算为淹没区,而在有源淹没分析中,洪水被阻断在环形山外,只有洪水位高于山顶时才会漫过在山内形成淹没区^[13-17].总之,洪水淹没就是由于水源区和被淹没区有水位差,洪水利用两者间的通道达到水位平衡状态,最终洪水覆盖的范围即淹没区.根据金普新区地形地貌特征,本文采用有源淹没情形进行洪水淹没分析.

洪水淹没过程是动态的、不断变化的,分析时可以概化为堤防漫顶式和堤防溃口式两种淹没情况.堤防漫顶式淹没通常设定某一洪水水位,分析洪水漫过堤防造成的淹没范围和水深分布.堤防溃口式淹没是给

定某一洪水量情况下造成的淹没范围和水深分布.堤防漫顶式淹没较常见,但洪水面实际上并非平面,而是一个曲面,为便于计算通常假定为平面,取多年洪水位观测数据作为淹没水位.在堤防溃口式淹没中,洪水量不可能是一个固定值,因为堤防溃口后存在人为干预作用,如封堵溃口,洪水量受封堵方式和封堵速度影响变化很大,增大了淹没分析的难度.因此,本文中采用堤防漫顶式淹没分析.

种子蔓延算法是一种广泛用于有源淹没分析方法,它是基于种子空间特征的扩散探测算法,其核心思想是将给定的种子点作为一个对象,赋予特定的属性,在某一平面区域上沿 4 个(或 8 个)方向游动扩散,求取满足给定条件、符合数据采集分析精度且具有连通关联分布的点的集合.利用种子蔓延算法计算淹没区,就是按给定水位条件,求取满足精度、连通性要求的点的集合,该集合组成的连续平面就是淹没范围.淹没范围分析的精度取决于 DEM 的分辨率.依据 DEM 象元的高程值精度,选择恰当的阈值作为判断象元归属的条件,该值称为种子蔓延探测分辨率.设空间数据精度为 m ,探测分辨率为 φ ,其关系式为:

$$\varphi = \frac{1}{n}m + K \quad (K < m) \quad (1)$$

式中 n 为倍频系数,通常取 2; K 为平衡参数,用于平衡探测分辨率和运算效率间的矛盾.种子点的起始位置一般选在水库堤坝、河岸边界等特征点处,将满足所有条件的连通关联淹没点存入缓存区,不断累加使淹没范围不断扩大.根据 GIS 数据采集的格网精度确定种子点探测步距,探测步距应与象元的尺寸相对应.可采用跳步方式提高计算效率,跳步值一般选 3~8^[18-19].

本文中选取青云河水库、鸽子塘水库、卧龙水库、北大河水库和登沙河、旗杆河、大魏家河、炮台河、邓屯河等河流为种子点,对其影响范围分别进行种子蔓延法淹没分析.大连市城市等级为 I 级,金普新区为大连市城市规划区.依据《防洪标准》和《海堤工程设计规范》的分级标准,金普新区防洪和防潮标准为 50 年一遇,因此采用 50 年一遇洪水位作为淹没水位进行计算.

2.3 淹没水深计算

在某一特定洪水位条件下,淹没水深分布与地面高程密切相关,其计算公式^[20-21]如下:

$$H=H_w-H_g \quad (H_w>H_g) \quad (2)$$

式中: H 为淹没水深(m), H_w 为洪水位高程(m), H_g 为地面高程值(m).

利用 ArcGIS 的 Spatial Analyst 工具中的数学分析, 计算 50 年一遇洪水位与 DEM 栅格之间的高差, 即可得到淹没水深分布图.

3 结果分析

根据金普新区 DEM 数据和收集的多年洪水位、潮位观测资料, 利用 ArcGIS 的空间分析工具进行洪水淹没分析, 淹没范围见图 3. 可以看出, 淹没区主要分布在水库和河流下游的冲洪积平原和海积平原, 淹没面积共 318.08 km², 占全区陆域面积的 18.6%, 除二十里堡街道、亮甲店街道、向应街道、华家街道、拥政街道、先进街道、海青岛街道未淹没外, 其他行政区均有淹没区域.

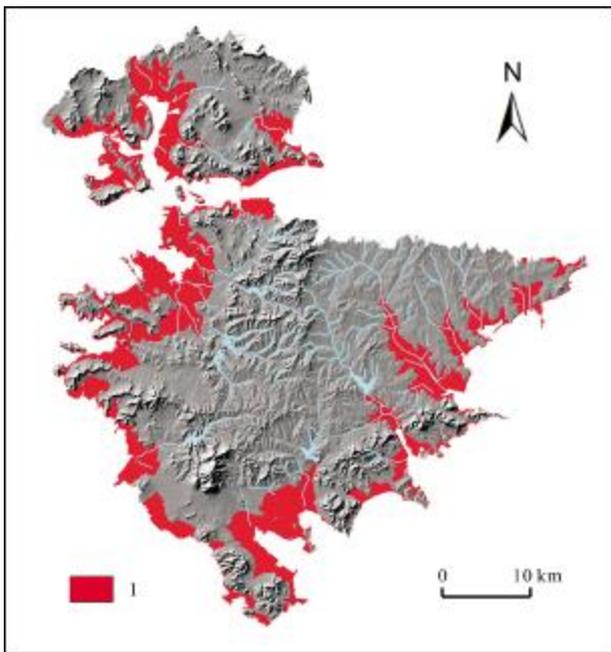


图 3 金普新区洪水淹没范围

Fig. 3 Map of flood-submerged area in Jinpu New District
1—淹没区(submerged area)

利用 ArcGIS 将洪水位减去 DEM 栅格, 得到淹没水深分布图(图 4). 由图 4 可知, 洪水淹没深度为 0~7.6 m, 以水库为种子点的淹没区域较大, 淹没水深自种子点到海岸线逐渐增大; 以河流为种子点的淹没区域呈带状分布, 淹没水深自河流中线向两侧逐渐减小.

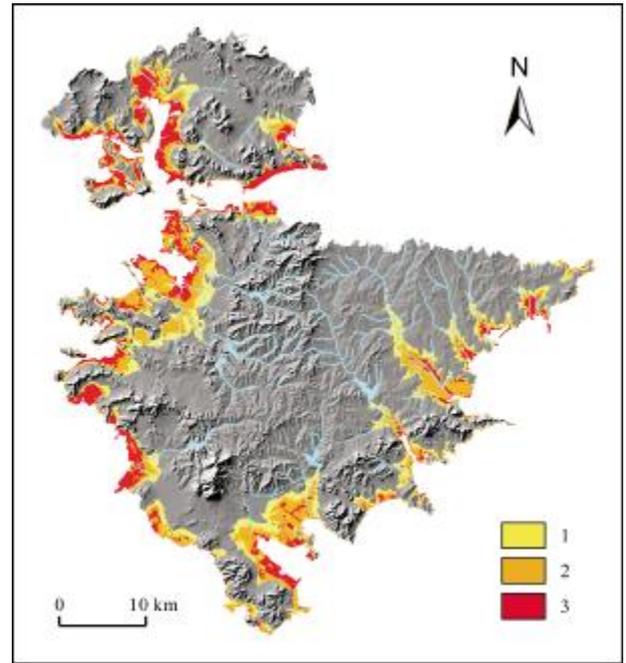


图 4 金普新区洪水淹没深度图

Fig. 4 Map of flood depth in Jinpu New District
1— 0~3 m; 2— 3~5 m; 3— >5 m

4 结论

1) 淹没区计算结果的准确性主要取决于空间数据精度, 本研究采用了 25 m 分辨率的 DEM 并收集多年洪水位、潮位数据, 保证了源数据精度, 为计算结果的准确性提供了保障.

2) 结合研究区地貌特征和水系分布, 基于 ArcGIS 技术采用种子蔓延法进行洪水淹没分析得到了淹没范围和水深分布. 该方法操作简单、有效、实用, 计算结果可靠, 可为城市规划选址、水利工程建设、防洪减灾决策等提供理论依据.

参考文献(References):

[1] 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.
Liu R Y, Liu N. A GIS based model for calculating of flood area[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(1): 1-6.
[2] 刘仁义, 刘南. 一种基于数字高程模型 DEM 的淹没区灾害评估方法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(2): 118-122.
Liu R Y, Liu N. A new DEM-based method for flood area calculation and damage evaluation[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(2): 118-122.
[3] 丁志雄, 李纪人, 李琳. 基于 GIS 网格模型的洪水淹没分析方法[J]. 水利学报, 2004(6): 56-60, 67.

- Ding Z X, Li J R, Li L. Method for flood submergence analysis based on GIS grid model[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(6): 56-60, 67.
- [4]孙君, 奚赛英, 尤迪, 等. 基于 ArcGIS 的洪水淹没分析与三维模拟[J]. 城市地质, 2012, 7(3): 31-33, 37.
- Sun J, Xi S Y, You D, et al. Analysis and 3D simulation of flood inundation based on ArcGIS system [J]. Urban Geology, 2012, 7(3): 31-33, 37.
- [5]叶君, 邹逸江. 基于 GIS 的宁波市三江口洪水淹没分析[J]. 黑龙江工程学院学报(自然科学版), 2009, 23(2): 20-23.
- Ye J, Zou Y J. The preliminary research on flood inundating analysis of Sanjiangkou of Ningbo based on GIS [J]. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, 2009, 23(2): 20-23.
- [6]徐韧, 吉阳光, 赵东儒, 等. 基于遥感与 GIS 技术的洪水淹没状况分析——以安徽省安庆市望江县为例[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 282-287.
- Xu R, Ji Y G, Zhao D R, et al. Flood inundation analysis based on remote sensing and GIS technology: A case study in Wangjiang County, Anqing City, Anhui Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 282-287.
- [7]许有鹏, 葛小平, 张立峰, 等. 东南沿海中小流域平原区洪水淹没模拟[J]. 地理研究, 2005, 24(1): 38-45.
- Xu Y P, Ge X P, Zhang L F, et al. Research of flood-inundated simulation on floodplain in coastal medium and small basins of Southeast China [J]. Geographical Research, 2005, 24(1): 38-45.
- [8]李天文, 吴琳, 曹颖. 基于渭河下游 DEM 的洪水淹没分析与模拟[J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 53-56, 90.
- Li T W, Wu L, Cao Y. Flood analysis and simulation of lower reaches of Weihe River based on DEM [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(4): 53-56, 90.
- [9]刘恒. 大连市大中型水库集总式洪水预报预警技术研究[J]. 中国水能及电气化, 2015(3): 18-22.
- Liu H. Research on medium and large reservoir lumped flood forecasting and early warning technology in Dalian [J]. China Water Power & Electrification, 2015(3): 18-22.
- [10]张情, 贾艾晨, 许士国. 基于 GIS 的中小河流典型洪水淹没图编制研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(4): 181-184, 217.
- Zhang Q, Jia A C, Xu S G. Research on the typical mapping of flood inundated areas of medium and small rivers based on GIS [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2014, 12(4): 181-184, 217.
- [11]王念念, 贾艾晨. 快速制作大中型水库洪水风险图方法研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(2): 86-89, 115.
- Wang N N, Jia A C. Research on quick mapping of flood inundated areas for large and medium reservoirs [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2015, 13(2): 86-89, 115.
- [12]王营, 贾艾晨. 农村洪水淹没范围及洪灾损失评估研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(9): 55-58.
- Wang Y, Jia A C. Research on rural flood inundated range and loss evaluation [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(9): 55-58.
- [13]杨军, 贾鹏, 周廷刚, 等. 基于 DEM 的洪水淹没模拟分析及虚拟现实表达[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2011, 33(10): 143-148.
- Yang J, Jia P, Zhou T G, et al. DEM-based simulation analysis and virtual reality expression of flood submergence [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2011, 33(10): 143-148.
- [14]孙阿丽, 徐林山, 石勇, 等. 基于 GIS 的洪水淹没范围模拟[J]. 华北水利水电学院学报, 2009, 30(2): 9-11.
- Sun A L, Xu L S, Shi Y, et al. Flood submerged area simulation based on GIS [J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2009, 30(2): 9-11.
- [15]周健. 基于数字高程模型的洪水淹没分析[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- Zhou J. Flood inundation analysis based on digital elevation model [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017.
- [16]郭利华, 龙毅. 基于 DEM 的洪水淹没分析[J]. 测绘通报, 2002(11): 25-27, 30.
- Guo L H, Long Y. Analysis of flood submerging based on DEM [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2002(11): 25-27, 30.
- [17]祝红英, 顾华奇, 桂新, 等. 基于 ArcGIS 的洪水淹没分析模拟及可视化[J]. 测绘通报, 2009(5): 66-68.
- Zhu H Y, Gu H Q, Gui X, et al. Analysis, Simulation and visualization of flood inundation based on ArcGIS [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2009(5): 66-68.
- [18]葛小平, 许有鹏, 张琪, 等. GIS 支持下的洪水淹没范围模拟[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 456-460.
- Ge X P, Xu Y P, Zhang Q, et al. A method for flood submerged area simulation based on GIS [J]. Advances in Water Science, 2002, 13(4): 456-460.
- [19]刘小生, 陈英俊, 黄玉生. 基于 GIS 技术的洪水淹没区确定[J]. 测绘科学, 2007, 32(5): 136-137.
- Liu X S, Chen Y J, Huang Y S. The ascertainment of flood area based on GIS [J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(5): 136-137.
- [20]龙美林. 基于 ArcGIS 的鄱阳湖水体淹没分析[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- Long M L. Analysis on water submerged of Poyang Lake based on ArcGIS [D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [21]甘郝新, 邓抒豪, 郑斌. 基于 GIS 的洪水淹没范围计算[J]. 人民珠江, 2007(6): 98-100.
- Gan H X, Deng S H, Zheng B. Flood inundated area calculation based on GIS [J]. Pearl River, 2007(6): 98-100.