

城市雨水管理

GIS 几何分析法在易涝区识别和空域构建中的应用

周倩倩, 许小文, 苏炯恒

(广东工业大学 土木与交通工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 在城市内涝灾损评估过程中,为分析地表溢流和淹没范围,常需借助地表空域建模和空间分析构建地表洼地和径流通路。基于地理信息分析系统 ArcGIS 和地理高程模型 DEM,采用 GIS 洼地分析方法识别地表易积水区域,提出了地表洼地结构的特征提取方法及表征阈值的优化方案,准确识别和提取易于造成地表淹没的地形特征。采用 7 种标准立体几何对地表的洼地结构进行空域表征,结果显示,以面积阈值作为地表溢流区域的提取参数时,与实测易涝区匹配度最高,体积作为提取参数次之,深度的匹配结果最差。对于洼地空域结构的构型,采用标准圆台 7 等分体得到的体积偏差最小,即圆台最适用于描述常见地表洼地结构。

关键词: 城市内涝; 易涝区; 空域提取; 阈值优化; 地表空域构型; GIS

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)19-0114-05

Application of GIS Geometric Analysis for Identification of Flood-prone Areas and Construction of Surface Structure

ZHOU Qian-qian, XU Xiao-wen, SU Jiong-heng

(School of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology,
Guangzhou 510006, China)

Abstract: To analyze surface overflow and waterlogging range, overland depressions and runoff pathway are often identified and constructed by surface structure characterization and spatial analysis during the assessment of waterlogging damage in urban areas. Based on geographical information software (ArcGIS) and digital elevation model (DEM), spatial locations of flood-prone areas were identified by GIS depression analysis method, feature extraction method of the surface depression structure and optimal scheme of characterization of the threshold were proposed, and topographic features of flood-prone area were accurately identified and extracted. Seven standard solid geometries were used to characterize the spatial characterization of the subsurface depression, so as to provide technical support for urban subsurface submergence analysis. The results showed that the matching degree was the highest when the area threshold was used as the extraction parameter of the surface overflow area, following was the volume and the depth was the worst. For configuration of the surface structure of the depression, the volume deviation obtained by 7 divided standard frustum of a cone was the minimum, which indicated that frustum of a cone was the most suitable for description of surface depression structure.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(51809049); 广东省公益研究与能力建设基金资助项目(2017A020219003); 广州市科技计划项目(201804010406); 广东省水利科技创新项目(2017-10)

Key words: urban waterlogging; flood-prone area; surface structure extraction; threshold optimization; surface structure characterization; GIS

随着我国城市化进程的发展,城市内涝频发,需借助城市排水防涝建模及数字化模拟准确评估地表径流通路及易涝区域,并对洼地的空域结构进行表征,描述在不同降雨情景下地表径流方向及易涝区的淹没范围和深度变化。目前,地表淹没分析主要依靠 GIS 对地理高程模型 DEM 进行简易的洼地提取及水文分析,缺乏对洼地结构的精细化提取及空域建模^[1~3]。

多项研究表明,城市地表的水洼很少整齐且成规律闭合,如何选取合适的提取阈值和空域模型对地表溢流区域和易涝点进行表征,将直接影响淹没评估的准确性。

笔者借助特征提取技术、阈值优化和空域建模方法,对城市易积水区的位置、分布范围及其空域结构进行描述和选取,既可以去除各种微地形对特征提取的干扰,又可以实现较高精度的空域建模,旨在为易涝区域的地表淹没分析提供精细化的数据支撑^[4]。

1 地表空域分析

城市地表空域分析流程如图 1 所示。

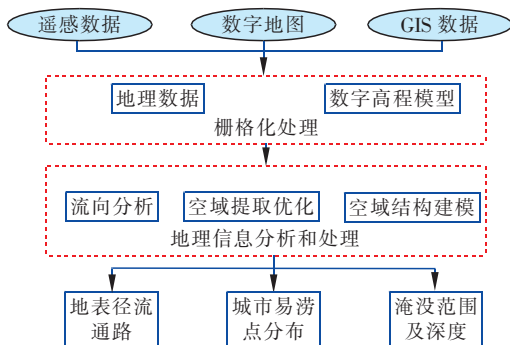


图 1 城市地表空域分析流程

Fig. 1 Analysis flow chart of urban surface structure

城市地表空域分析包括两个主要内容:①采用提取参数(如洼地的最小面积、体积)对低洼易涝区域进行选取。提取阈值的设定将直接影响选取洼地的空间分布和数量(如阈值偏小,则提取的低洼易涝区繁多,难以准确判断有效易涝点的分布;阈值偏大,则提取的洼地数量偏少,对淹没评估的支持信息不够),需要基于 GIS 对提取阈值进行优化。②构建洼地的空域结构,描述地表积水在各个洼地内的

淹没深度、范围和储水容量的变化,从而为地表淹没的精细化模拟提供参考^[5]。

1.1 易涝区的提取及阈值优化

基于 GIS“填洼”工具,首先对原始 DEM 数据进行洼地填充,得到无洼地的 DEM。图 2 显示了地表空域“填洼”和“填挖方”的原理。

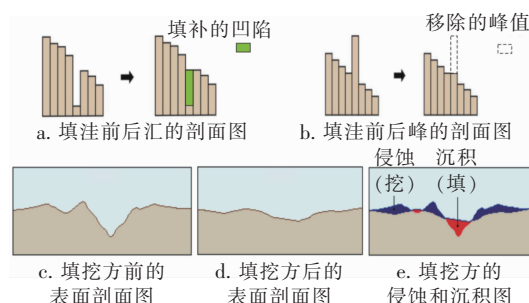


图 2 地表空域“填洼”和“填挖方”的原理

Fig. 2 Principle of “fill” and “cut fill” in surface structure

由图 2 可知,通过“填挖方”工具,计算填洼前后两个 DEM 地形数据的变化,获得对地表洼地的空间分布、数量、面积和体积描述。借助“栅格计算器”对两层 DEM 进行相减运算,获得各个洼地的结构深度描述。本研究以体积(V)、面积(A)和深度(H)作为提取地表有效洼地的特征参数,通过设定各参数的不同提取阈值,对比分析其提取区域与实测内涝点的空间匹配度,确定最佳的提取参数类型及阈值。

1.2 洼地的空域结构建模

理想情况下对洼地空域结构的描述,应建立在对各个洼地的纵向横截面进行分层提取和轮廓判别的基础上,基于数学统计获取其容量-深度的二维数据关系,进而准确计算其空间储水能力。然而在实际 DEM 分析中,该操作过程十分繁琐且计算量大,因此采用标准立体几何模型对洼地的空域结构进行描述(见图 3)。

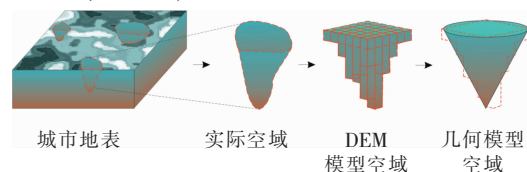


图 3 空域建模分析

Fig. 3 Surface structure modeling method

在 GIS 中为每个洼地建立标准几何模型,几何体的上底面积及高度特征值对应各个洼地的实际空域面积和深度,通过将几何模型的体积与 GIS 支持下获得的洼地实际体积进行对比分析,评判不同几何体的适用性。体积偏差值越小,说明对应的几何模型越合理。主要步骤如下:首先构建单体几何模型,分析不同几何体类型对洼地空域的表面准确度;在单体几何模型的基础上,建立等分分层几何模型,依次增加等分数,观察体积偏差度的变化,获取最佳几何模型。

本研究构建了 7 种标准模型,具体的几何构型见图 4。

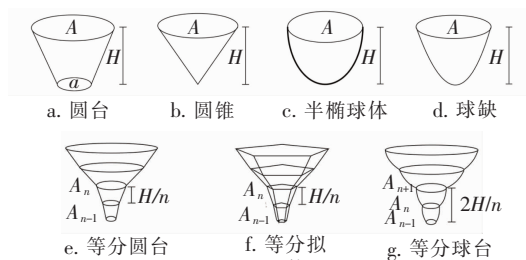


图 4 空域结构模型

Fig. 4 Surface structure model

2 研究区分析

研究区位于丹麦奥胡斯市北部的一个社区,主要用地类型为住宅区,周边有少量商业区和工业区。地理高程在 0~78 m 之间,地势西高东低,局部凹凸不平,年平均降水量为 650 mm。近年来该地区有不少极端降雨事件,造成大量内涝损失,需要结合地表空域分析支持城市内涝风险的初步判断^[6,7]。研究区的地面高程模型 DEM 是基于激光雷达技术获得的,格网分辨率为 1.6 m×1.6 m,高程精度为 0.01 m,其平均误差(均方根差)小于 0.05 m。

对地表易涝区的提取根据 3 个提取参数(洼地体积、面积、深度)的数值分布范围,利用内插法设定了相应阈值。图 5 展示了当以面积为提取参数时,不同面积阈值对提取结果的影响。可以看出,阈值为 20 m² 时提取的易涝区数量过多,导致较多无效易涝点信息,匹配度仅为 30%。随着阈值的增大,提取的洼地逐渐精简,有效信息增多,当阈值为 1 650 m² 时取得的最高匹配度为 68%。继续增大提取阈值,洼地数量急剧减少,对中小型洼地的提取效果减弱。

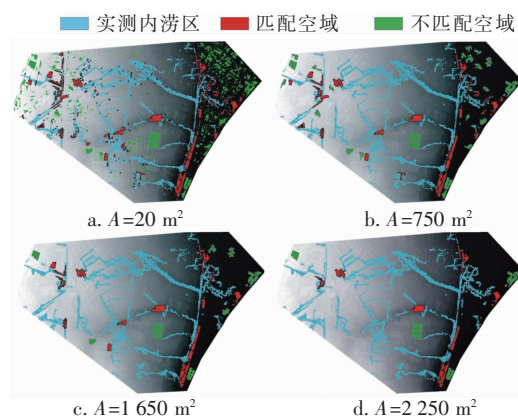


图 5 不同阈值下提取的易涝区

Fig. 5 Extracted flood-prone areas in different thresholds

基于研究区内实测 10 年和 50 年一遇的暴雨易涝区数据,对 3 个提取参数和阈值的匹配结果进行深入分析,结果如图 6 所示。

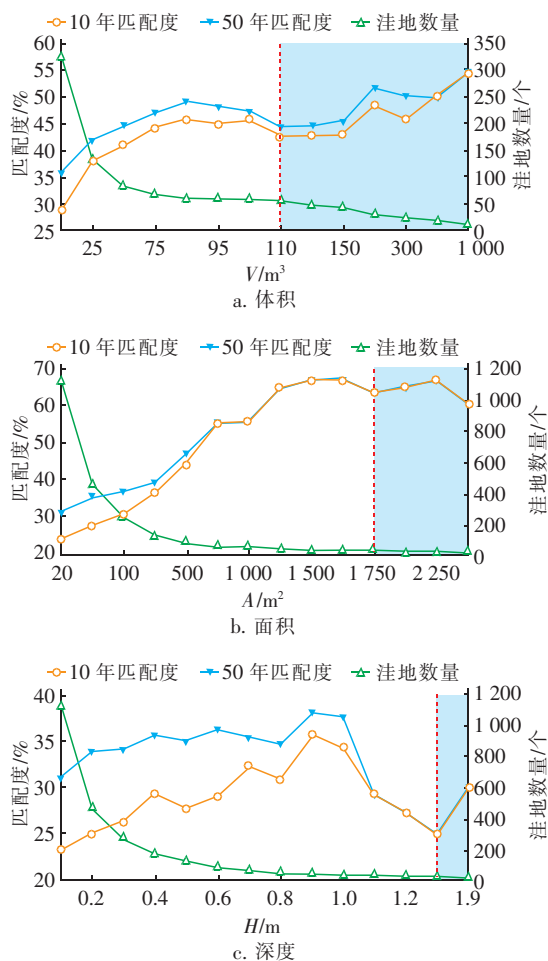


图 6 不同阈值下的洼地匹配度

Fig. 6 Matching degree of low-lying area under different thresholds

从图 6 可以看出,易涝区匹配度均呈现先高后低而后又升高的趋势,匹配度在 20% ~ 70% 之间,其中最佳提取参数类型为洼地面积。其中,阴影部分匹配度再度上升的原因,是由于当阈值设定较大时,提取的空域数量已屈指可数,匹配空域数量的增减对计算结果影响较大,且提取的信息只显示预见性较高的大型城市易涝区,通过 DEM 地形即可判断为洼地位置,参考价值不大。

针对洼地的空域构型,单体几何模型的匹配结果如图 7(a) 所示。可知,采用的 4 种几何模型的体积偏差在 -50% ~ 350% 之间,其中圆锥模型体积偏差最小,约为 $\pm 50\%$,但偏差仍较大。在此基础上,构建了 3 种等分分层模型,分别依次从 1 ~ 10 等分模型进行结构优化。结果显示,随着等分数的增加,体积偏差值总体呈现逐渐减小的趋势,偏差度由 $\pm 300\%$ 逐渐优化至 $\pm 1\%$ 。在 7 等分时,此 3 种模型的体积偏差值均达到最小,约为 $\pm 1\%$,见图 7(b)。其中,圆台模型的适用性最佳,最接近实际空域结构。以该模型构建地表空域结构,可以准确描述大量地表洼地的空域结构,避免繁琐的空域分层提取操作,缩减了地表洼地构型的时间和工作量。

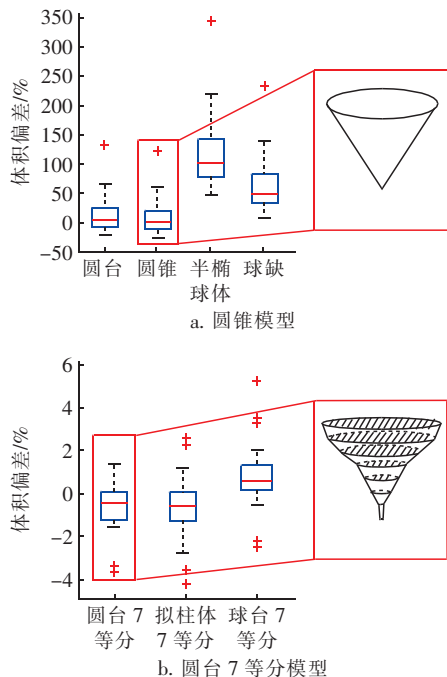


图 7 空域模型体积偏差结果

Fig. 7 Results of volume deviation of surface structure model

3 结论

为解决城市内涝建模中需对地表空域进行精细化模拟的问题,采用了特征提取和阈值优化分析、洼地空域结构建模的方法,对地表易涝区进行提取优化和空域构型。结果显示,在该研究区域内,洼地面积最适宜作为有效地表易涝区的提取特征;在描述地表空域结构方面,圆锥相较于其他单体模型较符合洼地结构,在所有几何模型中,圆台 7 等分模型对常见洼地的描述匹配度最高。

笔者采用的 GIS 洼地几何分析法是一种可快速、宏观地识别城市地表易积水区域分布以及表征其空域结构的方法,适用于现状易涝区域的识别和空域构建,可为其地表淹没分析和排水建模提供重要参数。该方法具有建模快捷、计算效率高等特点,但在实践中存在一定的局限性,如对于不同频率降雨下的易涝区域积水水深分析评估不太适宜,仍存在一定的计算误差。另一方面,水文水动力模拟可大幅提高地表淹没的计算精度,模拟多种流态共存的水流运动,更适宜对不同降雨情景下的水深和水速计算以及工程措施实施前后的效果进行评估。但其在建模和求解运算上的时间也相应增加,容易出现结果不稳定和收敛的问题。同时,水动力建模所需要的数据在实践中也较难获得。

参考文献:

- [1] 石赞赞,万东辉,陈黎,等. 基于 GIS 和 SWMM 的城市暴雨内涝淹没模拟分析[J]. 水电能源科学,2014,32(6):57-60,12.
Shi Yunyun, Wan Donghui, Chen Li, et al. Simulation of rainstorm waterlogging and submergence in urban areas based on GIS and SWMM [J]. Water Resources and Power, 2014, 32(6): 57-60, 12 (in Chinese).
- [2] 周倩倩,王和平,许苗苗,等. 基于 GIS 的栅格水文建模法快速评估内涝风险[J]. 中国给水排水,2015,31(21):109-113.
Zhou Qianqian, Wang Heping, Xu Miaomiao, et al. A simplified GIS-based hydrological modeling approach for rapid flood risk assessment [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(21): 109-113 (in Chinese).
- [3] 黄国如,黄维,张灵敏,等. 基于 GIS 和 SWMM 模型的城市暴雨积水模拟[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(4):1-6.

(下转第 123 页)