

# Analysis of Causes and Risk Assessment of Urban Waterlogging Based on GIS—Taking the Main City of Fuzhou as an Example

Wenchuan Wang<sup>1</sup>, Yuchao Chen<sup>1</sup>, Aiqing Kang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

<sup>2</sup>Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing

Email: wangwen1621@163.com, wangwenchuan@ncwu.edu.cn

Received: May 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: May 21<sup>st</sup>, 2019; published: May 31<sup>st</sup>, 2019

## Abstract

With the rapid development of urbanization and the impact of extreme climate, the urban waterlogging in Fuzhou is frequent, and coping with the risk of waterlogging has become one of the problems in urban governance. Taking Jiangbei District of Fuzhou City as an example, this paper uses Mann-Kendall (M-K) and non-parametric Sen method to analyze the short-duration precipitation law, and uses ArcGIS tool to process and analyze the waterlogging factors such as cushion, river network and pipeline network. It is considered that the main causes of waterlogging are the increase of short duration rainfall, the high proportion of impervious surface, the special topography, the top support of tidal level in Minjiang River and the siltation of river channel. Aiming at the small-scale waterlogging risk assessment in urban areas, based on the index system assessment method and scenario simulation method, a comprehensive waterlogging risk assessment method is proposed. According to the results of waterlogging risk assessment in the main urban area of Fuzhou, the high, medium and low risk areas are divided. The assessment results are verified by typhoon “Maria” waterlogging point, which proves that the risk assessment results are reasonable. It has practicability and applicability to the flood control and drainage planning of Fuzhou city and the control of waterlogging points.

## Keywords

ArcGIS, Urban Waterlogging, Causes of Waterlogging, Risk Assessment

# 基于GIS的城市内涝成因分析及风险评估研究——以福州市主城区为例

王文川<sup>1</sup>, 陈玉超<sup>1</sup>, 康爱卿<sup>2</sup>

作者简介: 王文川(1976-), 男, 河南鹿邑人, 博士, 教授, 博导, 主要从事水文水资源系统分析、遥感信息处理等方面的研究。

文章引用: 王文川, 陈玉超, 康爱卿. 基于 GIS 的城市内涝成因分析及风险评估研究——以福州市主城区为例[J]. 水资源研究, 2019, 8(3): 224-233. DOI: 10.12677/jwrr.2019.83027

<sup>1</sup>华北水利水电大学, 水利学院, 河南 郑州

<sup>2</sup>中国水利水电科学研究院, 水资源研究所, 北京

Email: wangwen1621@163.com, wangwenchuan@ncwu.edu.cn

收稿日期: 2019年5月4日; 录用日期: 2019年5月21日; 发布日期: 2019年5月31日

## 摘要

随着城市化的快速发展, 极端气候的影响, 福州城区内涝频繁, 应对内涝风险已经成为城市治理中的难题之一。本文以福州市江北城区为例, 利用Mann-Kendall (M-K)以及非参数化Sen方法分析短历时降水规律, 借助ArcGIS工具处理分析垫面、河网、管网等致涝因素。认为短历时降雨的增强、不透水地面比例的增高、特殊的地形、闽江潮水位顶托、河道淤堵等是内涝形成的主要原因。针对城市地区小尺度的内涝风险评估, 在指标体系评估法和情景模拟法的基础上, 提出内涝风险综合评估法, 根据福州主城区内涝风险评估结果划分了高、中、低风险区域, 并采用“玛利亚”台风涝点对评估结果进行了验证, 证明风险评估成果是合理的, 对福州城市防洪排涝规划和内涝点的治理具有实用性和适用性。

## 关键词

ArcGIS, 城市内涝, 内涝成因, 风险评估

Copyright © 2019 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 在全球气候系统变暖的大背景下, 暴雨等极端气候事件频发[1]。据不完全统计, 我国有 300 多个城市遭遇过不同程度的内涝灾害[2], 尤以经济发达的东南沿海城市最甚。福州因独特的地理位置使其备受内涝困扰, 2005 年的“龙王”台风和 2016 年的“鲇鱼”台风导致市区大面积积水、停水停电、交通中断, 人民生命财产安全受到极大威胁。城市内涝问题引起了城市管理者的重视, 2016 年 3 月, 福建省政府出台了《实施城市内涝防治三年行动计划(2016~2018 年)》[3], 提出“从 2016 年起用三年时间, 实现内涝防治水平明显提高”的目标。

解决内涝问题的当务之急是摸清内涝成因并进行内涝风险评估, 对此, 广大国内外专家学者也做了相关的研究, 叶斌等[4]以内涝灾害频发的武汉、深圳、南昌等城市为例探析内涝灾害产生的原因, 结果表明城市规划、排水管网以及市民防涝意识是易涝的主要原因; 张维[5]认为降水量大、潮水顶托、城市排水设施不足、城市化发展迅速是广州市内涝的主因。上述研究表明, 各城市地域特征具有差异性, 内涝成因分析需要“因城而异”。进行内涝风险评估可以有针对性地预防和治理城市内涝, 从而达到降低城市内涝灾害损失, 保护人民的生命财产安全的目的。Benito 等[6]根据欧洲某城市过去上千年的洪水资料和近 50 年的水文站记录, 构建了一种评估城市洪水风险的方法; 郭涛[7]利用 2000 多年的四川城市的水灾资料, 研究分析了城市洪涝灾害的规律特征; Rygel 等[8]基于指标体系法从国家尺度对洪灾风险进行区划和评估; Aleksandra [9]基于洪涝风险理论, 选择 26 个指标对英国曼彻斯特市洪水风险脆弱性进行评估, 指明了该市洪涝高风险区域。目前, 在情景模拟评估中用到的国外商业模型软件都很成熟, 如: 英国 Wallingford 的 InfoWorks ICM、丹麦 DHI 的 Mouse 及 Mike, 美国 EPA 的 SWMM 等。栾慕、王丹、王滢等人[10][11][12]分别在市、区、县尺度上运用 SWMM、Mike 及 ICM 模型进行内涝模拟与风险评估, 等等。但是, 上述风险评估基本都是采用单一方法研究, 针对城市地区小尺度的内涝风

险评估，很少有研究讨论在山洪影响下的感潮河网区域的交叉评估或综合评估。因此，本文利用福州市主城区的降雨、下垫面、河网水系、外江潮位等基础资料，对内涝产生的根源进行研究的同时，基于 Infoworks ICM 软件构建内涝模拟模型，提出适用于福州本地的内涝风险综合评估法，对福州主城区的内涝风险进行评估区划，以为福州市及类似多河网的沿海城市预防内涝，降低洪涝灾害风险提供理论依据。

## 2. 内涝成因分析

### 2.1. 降水因素

高强度降水是造成城市内涝的主要自然因素。福州市年平均降水量为 900~2100 mm，在对 106 a (1900~2005 年)来福建的台风进行统计分析，平均每年约 2 次，并且未来有增大的趋势[13]，多集中在 7~9 月，8 月最盛，台风期间带来的连续高强度、历时短的降雨极易形成洪涝灾害。

基于福州城区国家级气象站福州站(1961~2012 年)的 120 分钟的长系列降雨资料研究短历时降雨的变化特征，运用线性拟合、滑动平均、Mann-Kendall (M-K)以及非参数化 Sen 方法[14]对短历时降雨规律进行分析。表明，近 52 a，2 h 历时降雨量呈现波动变化特征，于 2005 年出现最大值 176 mm，1986 年出现最小值 31.9 mm，均值为 58 mm，根据拟合的线性曲线，降雨量按照 3.6 mm/10 年的速度增加，见图 1；5 a 滑动平均表明，2 h 降水量变化存在明显的年代际特征，在 1961~1980 年期间，波动较小，基本与多年平均值持平，而在 1980 年以后，起伏较大且不稳定，就整个阶段来看，是正距平。经过 Sen 趋势度方法分析，在 99%的置信度下  $\beta$  在 -0.3~0.6 之间变化，见图 2，斜率估计值为 0.087，大于 0，表明 2 h 降水量为增加的趋势。M-K 检验中的统计值 Z 为 0.63，表明增加趋势不显著。

### 2.2. 地形地势

利用 ArcGIS 软件对江北主城区 30 m 精度的 DEM 进行渲染处理，见图 3，表明主城区地势西高东低，北高南低，东西北三面群山环抱，南临闽江，主城区位于河口盆地中心。这种特殊的地形地势使得在强暴雨期间，北部和东西部山洪入侵时，城区排洪排涝压力加大；若此时适逢“半日潮型”闽江潮水顶托[15]，城区排水不畅，城区积水问题更加突出。

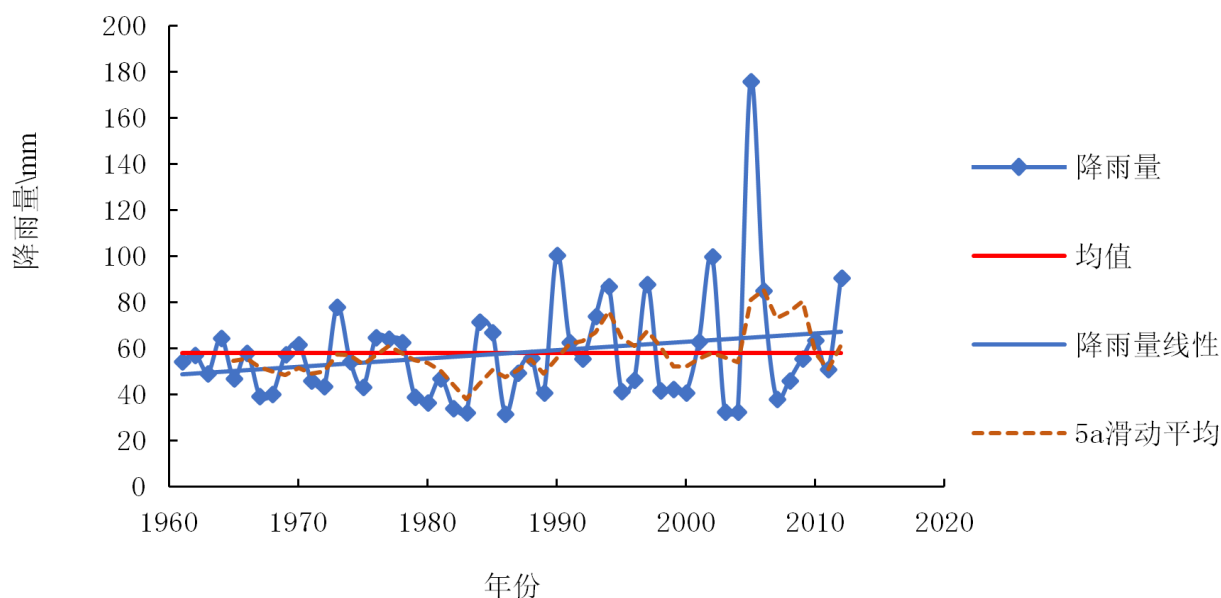


Figure 1. The interannual change process of 2 h rainfall  
图 1. 2 h 降雨量年际变化过程

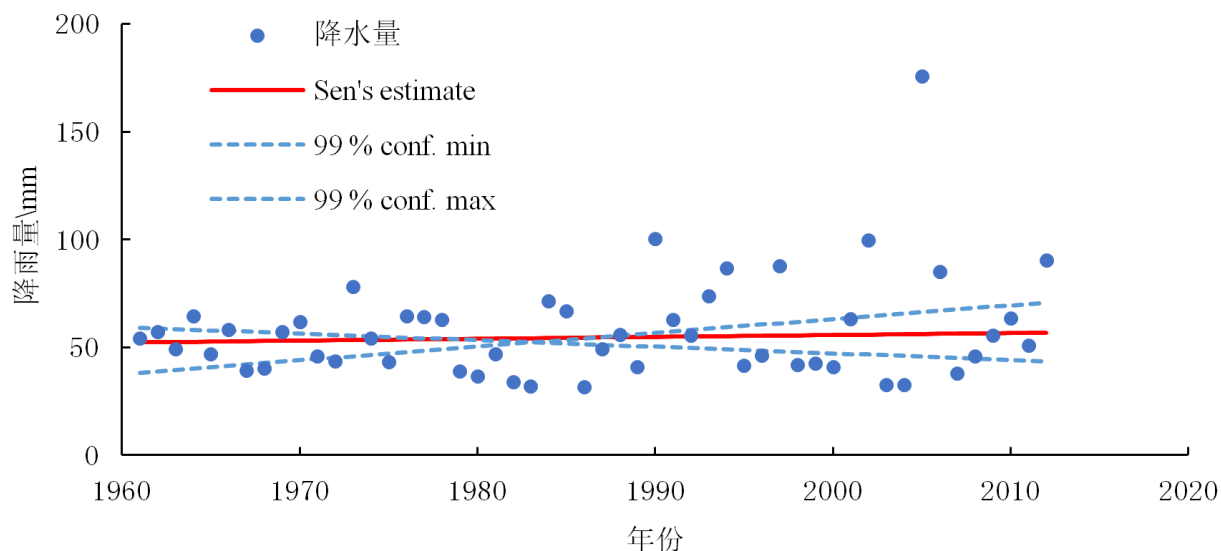


Figure 2. Sen trend degree analysis of 2 h rainfall  
图 2. 2 h 降雨量 Sen 趋势度分析

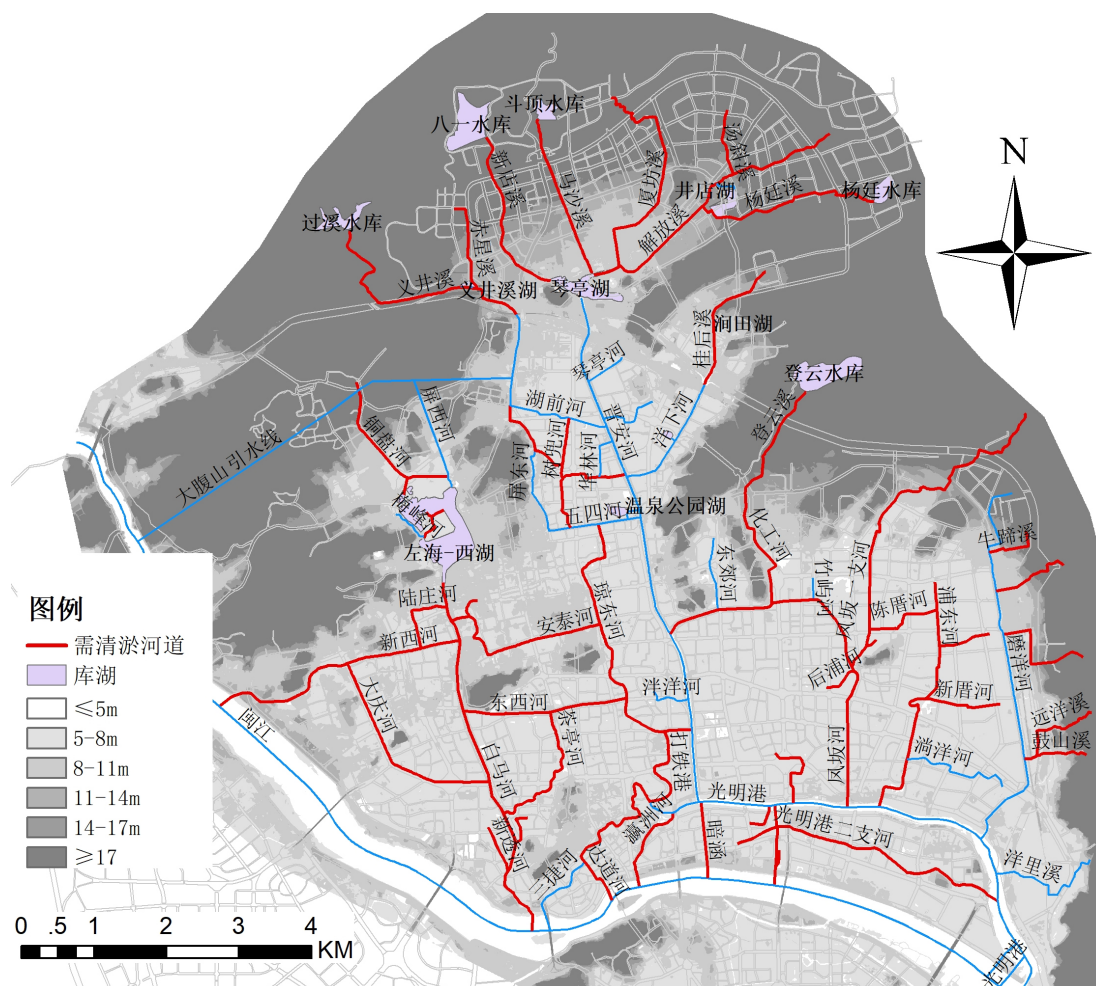


Figure 3. Topography and water system topology of Fuzhou main urban area  
图 3. 福州主城区地形及水系拓扑图



### 2.3. 下垫面

1990 年之后，福州城市化进度加快，原有的绿地、湿地和水体被各类不透水下垫面取代，导致地表水文循环中径流过程发生很大变化。不透水率与径流系数存在很好的线性关系，当把不透水率为 15% 的农耕地改变为 85% 的建筑用地时，在同等降雨条件下，产流速度加快，以道路、建筑为主的不透水路面的地表径流量会增加数倍[16]，对低洼地带排水造成很大压力。

将江北主城区下垫面划分为以下七种[17]：绿地、道路、房屋、广场(不渗水)、广场(渗水)、裸土、水体。利用 ArcGIS 工具将下垫面类型进行矢量化，见图 4，并对各种类型的下垫面进行统计，统计结果表明，硬化地表(房屋、道路和不渗水广场)面积约占比 48%，相比于杭州(硬化地表面积比例 24%)等其他城市，不透水率较高。这种高的不透水率会加剧内涝灾害的影响：暴雨期间，1) 下渗减少，地表径流增加，洪量加大；2) 地表径流汇流加快，导致洪峰提前。这是福州城区极易发生内涝灾害的重要原因。

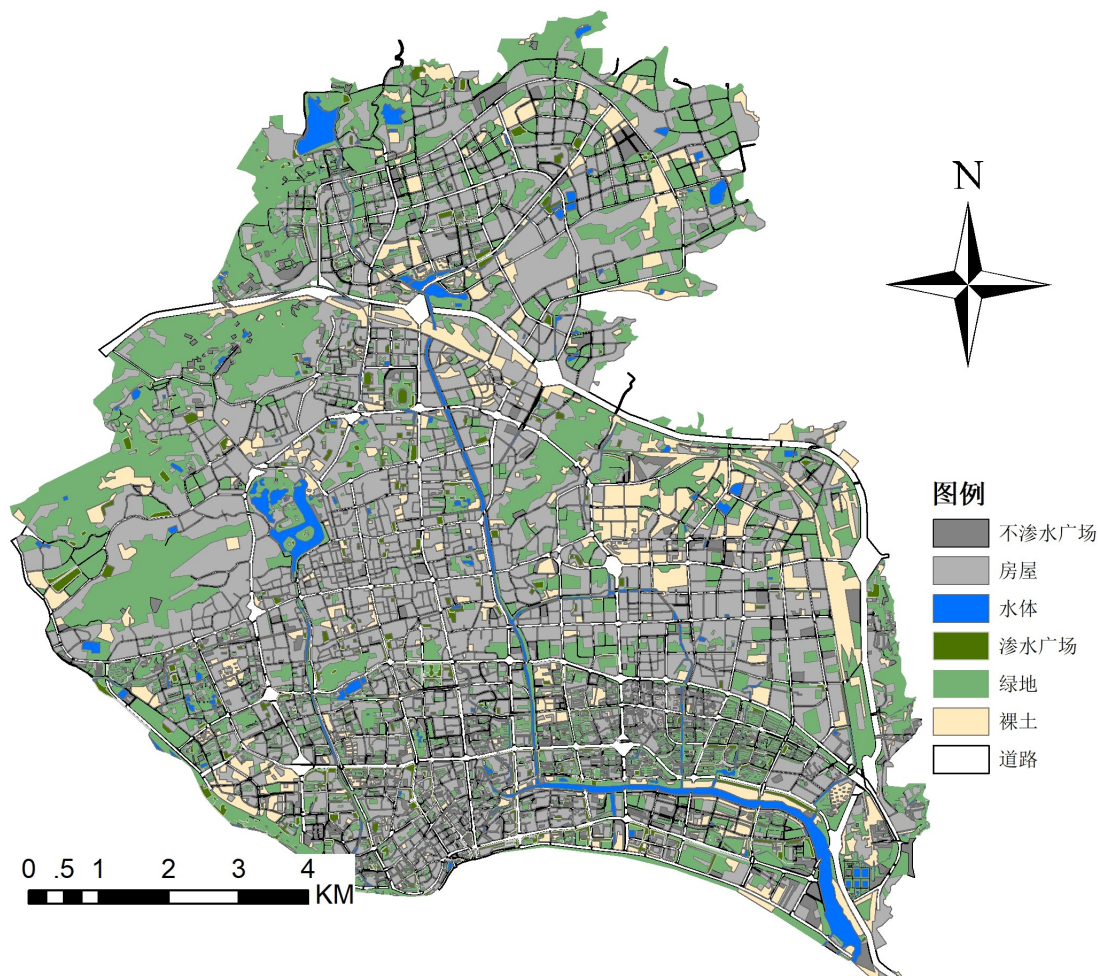


Figure 4. Distribution of underlying surface in Fuzhou main urban area  
图 4. 福州主城区下垫面分布

### 2.4. 排水通道

#### 1) 排水管道

根据管线普查资料统计结果，主城区内排水(雨水)管渠管径介于 200~2400 mm 之间，设计标准多为 1 年一

遇(年多个样法),其中低于 500 mm 管径比例约为 63%。由于管径小,设计标准偏低等问题,也在很大程度上影响了雨水管排水能力。

### 2) 河道

近年来,福州城市化速度加快,内河、湖泊等水面被挤压,城市天然滞蓄空间在急剧减少。现如今,江北主城区水系状况如上图 3 所示,泄洪排涝主要依靠晋安河-光明港通道,不足以满足福州的排涝要求,并且还有不少断头河,除此之外,部分河道堵塞,淤积的问题也很严重,需清淤河道占比较高,见图 3,大大限制河道排水通道的泄洪能力。

## 3. 内涝风险评估

### 3.1. 内涝风险评估方法选择

目前,城市内涝风险评估的方法有多种,较为常用的主要有以下三种方法:历史灾情数理统计评估法、指标体系评估法和情景模拟评估法[18]。历史灾情数理统计的内涝灾害评估法虽然计算简便,不需要详尽的地理背景数据,但难点在于获得长历时历史灾情资料;基于指标体系评估应用虽最广泛,但主要应用于较大的空间尺度,精度相对不高;情景模拟法运用成熟的水文水力学模型在不同降雨情景下进行数值模拟,适用于城市等小尺度区域,难点是降雨情景的设置以及基础资料的收集。经过分析上述三种评估方法的各自的优缺点,结合福州市的具体情况,在指标体系评估法和情景模拟法的基础上,提出福州内涝风险综合评估法。其思路为:首先确定内涝风险评估标准,然后通过水文水力模型进行模拟(包括积水区域、深度、时间)。最后基于模拟结果和评估标准划分内涝风险区。

### 3.2. 内涝风险评估标准

#### 1) 影响因素

与内涝风险相关的因素主要包含两类:积水程度(含积水深度和积水历时等)和区块重要性。其中积水程度属于致灾因子,需采用水文水力模型进行精细化模拟;区块重要性属于承灾体,根据社会公众承受能力定性确定。内涝风险可用函数表示为:

$$R = f(h, t, x) \tag{1}$$

式中:  $h$ ——积水深度;  $t$ ——积水历时;  $x$ ——区块重要性。

#### 2) 确定权重和风险分值

按照三个影响因素的重要性,结合专家评分结果,确定积水深度和积水历时的权重为 0.4,区域重要性的权重为 0.2。对各影响因素的不同分级进行专家打分[19],确定风险分值,见表 1。

**Table 1.** Statistical results of graded risk scores of waterlogging influencing factors

**表 1.** 内涝影响因素分级风险分值统计结果

影响因素	风险权重	分级	风险分值
积水深度(cm)	0.4	$h < 15$	1.5
		$15 \leq h < 30$	2
		$30 \leq h < 50$	2.5
		$h \geq 50$	3
积水历时(h)	0.4	$t < 1$	1
		$1 \leq t < 2$	2

		$t \geq 2$	3
<b>Continued</b>			
		一般重要	1.5
		比较重要	2
		重要	2.5
		特别重要	3
区域重要性	0.2		

3) 风险评估标准

按照各影响因素的权重和风险分值，可以通过下式进行内涝风险值计算：

$$R = Q_h \times W_h + Q_t \times W_t + Q_x \times W_x \tag{2}$$

式中： $R$ ——区域内涝风险值； $Q_h$ ——积水深度的风险分值； $W_h$ ——积水深度的风险权重； $Q_t$ ——积水历时的风险分值； $W_t$ ——积水历时的风险权重； $Q_x$ ——区域重要性的风险分值； $W_x$ ——区域重要性的风险权重。

基于表 1，通过式(2)对不同分级进行内涝风险值计算，根据风险值计算结果以及遵循从严掌控的原则，设定划分高中低风险区的界值为 1.8 和 2.4，拟定福州市内涝风险等级标准，见表 2。

Table 2. Waterlogging risk assessment criteria

表 2. 内涝风险评估标准

内涝风险值 R	风险情况描述	内涝风险等级
$R < 1.8$	区域内积水点零星分布，深度小于 15 公分，积水很快消散，对居民出行基本无影响，且区域内无重要的公共设施。	低风险
$1.8 \leq R < 2.4$	区域内积水点主要分布在道路沿线，小区内无积水，积水深度 15~30 公分，虽然对居民出行有一定影响，但不会造成财产损失和人员伤亡，区域内有重要的公共设施，如学校，政府机构等。	中风险
$R \geq 2.4$	区域内积水点分布较多，范围广，小区内和道路同时出现积水，且积水深度在 30 公分以上，影响居民出行，并可能造成人员伤亡和损失财产，且区域内有重要的公共设施，如交通枢纽、医院等。	高风险

3.3. 内涝灾害模型模拟与风险评估

基于江北主城区排水防涝基础设施资料，采用 Infoworks ICM 软件对内涝风险情景进行模拟分析。模型中设置新店溪、登云溪等 12 个上游边界入流，采用 50 年一遇的山洪入流；下游边界条件采用彬德水闸、五孔闸等 4 个闸站的外江多年平均高潮位。住建部颁发的《城市排水(雨水)防涝大纲》要求城市中心城区需有效应对 50 年一遇的暴雨，因此本研究的设计暴雨采用图 5 所示的 TM = 50 年的 24 h 降雨雨型。

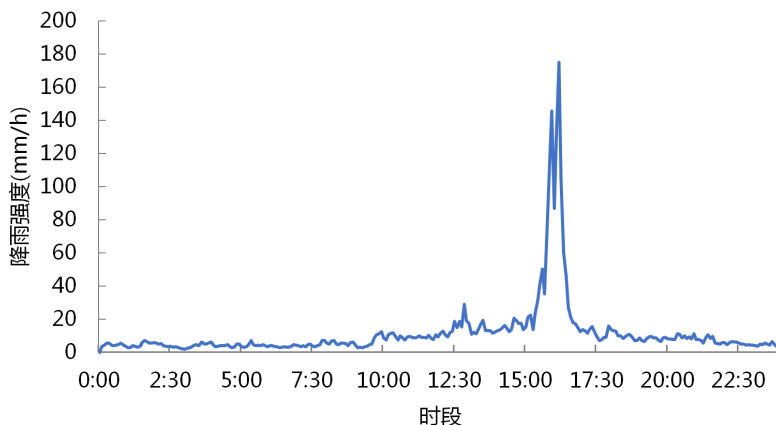




Figure 5. Designing rainfall patterns for 24 hours once in 50 years

图 5. 50 年一遇的 24 h 设计降雨雨型

当江北主城区遭遇 50 年一遇暴雨时，城区大部分内河均出现漫溢现象，区域内五四河、湖前河、晋安河等多条河道内的洪涝水漫溢至周边地块，总体上，积水严重区域主要分布在晋安河流域以及城区其他低洼地区。通过计算积水区的风险值，按照风险评估标准，判定积水区域风险类型，利用 ArcGIS 软件绘制洪涝风险区，见图 6。对各类风险区面积进行统计，得出内涝风险评估结论：高风险区面积达 23.4 km<sup>2</sup>，占比 23%，主要分布在晋安河中上游区域；中风险区面积约 20.2 km<sup>2</sup>，占比 19%，主要分布在凤坂河、浦东河河区域；低风险区面积 60.4 km<sup>2</sup>，占比 58%，主要分布在北部山区、新西河以西以及磨洋河以东。

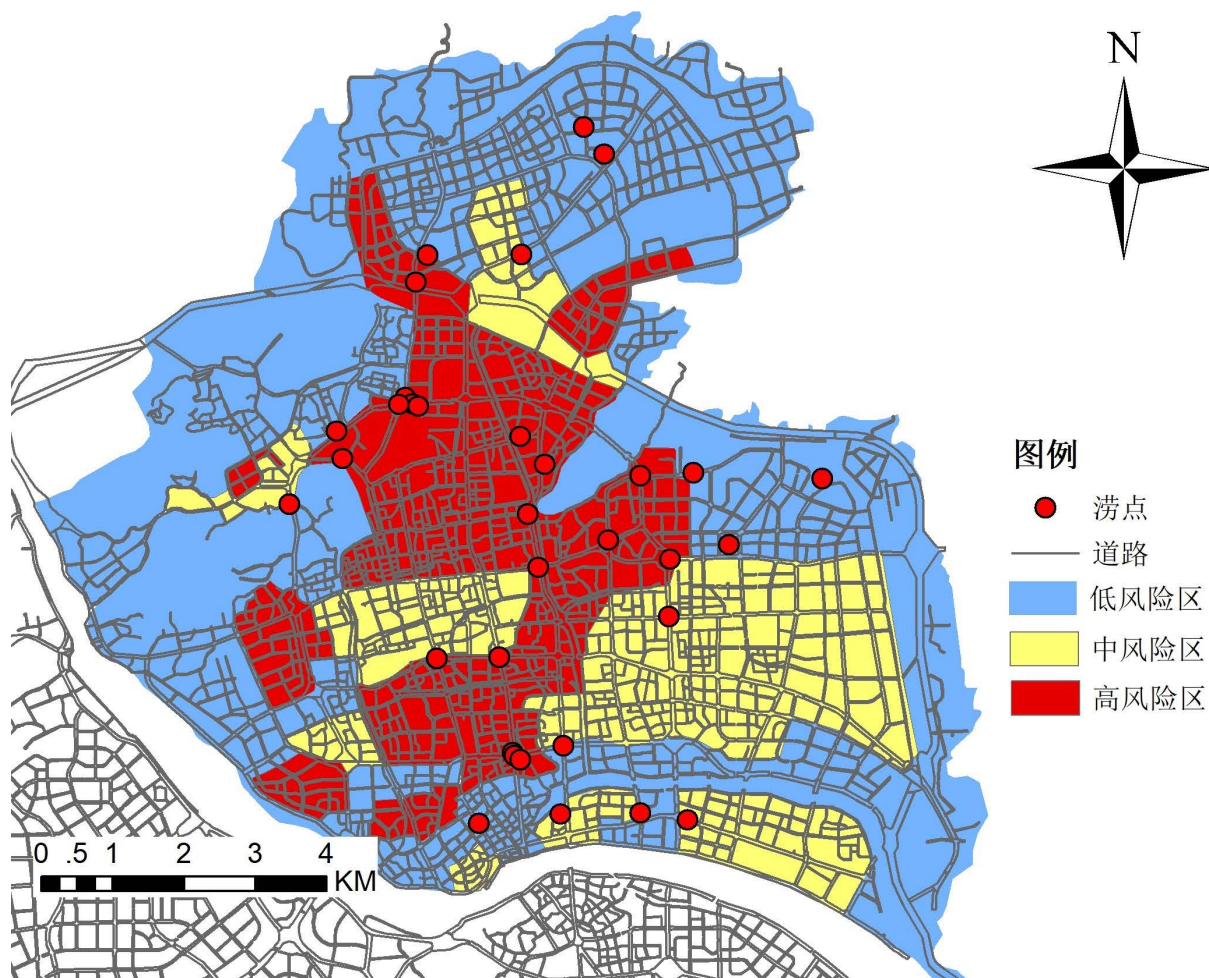


Figure 6. Flood risk zoning and distribution of “Maria” in the main urban area of Fuzhou

图 6. 福州主城区区洪涝风险区划及“玛利亚”涝点分布图

#### 4. 结语

城市内涝成因具有复杂性，受多变量因素的制约。本文以福州主城区为研究对象，仅分析降雨、下垫面、地形及排水通道因素对洪涝形成的影响，也可从管理、规划、排涝设施等角度展开成因分析。在 50 年一遇暴雨重现期下，借助模型手段，采用内涝风险综合评估法开展了福州主城区的内涝风险评估，对评价结果进行了高、中、低风险分区。利用 2018 年第八号台风“玛利亚”（降雨重现期超 50 年一遇）在主城区形成的涝点对评估结果



的合理性进行验证,如图 6 所示,有 67%的涝点发生在高风险区,有 82%的涝点发生在中风险区以上,与风险评估的结果大致相符,表明评估研究成果具有可适用性和实用性。开展内涝风险评估,可以提前告知风险,达到减灾降险的目的,亦可辅助内涝成因分析,结合工程手段为城市防洪排涝规划和内涝点的治理方案提供有力的参考。

## 基金项目

国家自然科学基金项目(51509088);河南省高校科技创新团队(18IRTSTHN009);河南省水环境模拟与治理重点实验室(2017016)。

## 参考文献

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,丁一汇,戴晓苏,任贾文,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.  
QIN Dahe, CHEN Zhenlin, LUO Yong, DING Yihui, DAI Xiaosu, REN Jiawen, et al. Recent cognition of climate change science. *Progress in Climate Change Research*, 2007, 3(2): 63-73. (in Chinese)
- [2] 王伟武,汪琴,林晖,龚迪嘉,张圣武. 中国城市内涝研究综述及展望[J]. 城市问题, 2015(10): 24-28.  
WANG Weiwu, WANG Qin, LIN Hui, GONG Dijia and ZHANG Shengwu. Review and prospect of urban inland research in China. *Urban Problems*, 2015(10): 24-28. (in Chinese)
- [3] 福建省人民政府网. 福建省人民政府关于印发实施城市内涝防治三年行动计划(2016-2018 年)的通知[EB/OL]. [http://www.fujian.gov.cn/zc/zxwj/szfwj/201604/t20160407\\_1180072.htm](http://www.fujian.gov.cn/zc/zxwj/szfwj/201604/t20160407_1180072.htm), 2016-04-06.  
Fujian Provincial People's Government Network. Fujian Provincial People's Government notice on printing and distributing the three-year action plan for urban infighting prevention and control (2016-2018). [http://www.fujian.gov.cn/zc/zxwj/szfwj/201604/t20160407\\_1180072.htm](http://www.fujian.gov.cn/zc/zxwj/szfwj/201604/t20160407_1180072.htm), 2016-04-06. (in Chinese)
- [4] 叶斌,盛代林,门小瑜. 城市内涝的成因及其对策[J]. 水利经济, 2010, 28(4): 62-65+78.  
YE Bin, SHENG Dailin and MEN Xiaoyu. Causes of urban infighting and its countermeasures. *Journal of Economics of Water Resources*, 2010, 28(4): 62-65+78. (in Chinese)
- [5] 张维. 广州城市内涝成因及防治对策[J]. 广东气象, 2011, 33(3): 49-50+53.  
ZHANG Wei. The causes of formation and prevention countermeasures in Guangzhou City. *Journal of Guangdong Meteorology*, 2011, 33(3): 49-50+53. (in Chinese)
- [6] BENITO, G., LANG, M., BARRIENDOS, M., et al. Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation, review of scientific methods. *Natural Hazard*, 2004, 31(3): 623-643. (in Chinese)  
<https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000024895.48463.eb>
- [7] 郭涛. 四川城市水灾的历史特征[J]. 灾害学, 1991, 6(1): 72-79.  
GUO Tao. Historical characteristics of urban floods in Sichuan. *Disaster Science*, 1991, 6(1): 72-79. (in Chinese)
- [8] RYGEL, L., O'SULLIVAN, D. and YARNAL, B. A method for constructing a social vulnerability index: An application to hurricane storm surges in a developed country. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, 11: 741-764.  
<https://doi.org/10.1007/s11027-006-0265-6>
- [9] KA'ZMIERCZAK, A., CAVAN, G. Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 103: 185-197. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.008>
- [10] 栾慕,袁文秀,刘俊,等. 基于 SWMM-MIKE11 耦合模型的桐庐县内涝风险评估[J]. 水资源保护, 2016, 32(2): 57-61.  
LUAN Mu, YUAN Wenxiu, LIU Jun, et al. Waterlogging risk assessment in Tonglu County based on SWMM-MIKE11 coupling model. *Water Resources Protection*, 2016, 32(2): 57-61. (in Chinese)
- [11] 王丹. 基于 MIKE 模型的西安市曲江新区城市内涝模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2017.  
WANG Dan. A simulation study of urban waterlogging in Qujiang New District of Xi'an City based on MIKE model. Master's Degree Thesis, Xi'an: Xi'an University of Technology, 2017. (in Chinese)
- [12] 王滢,周小伟. InfoWorks ICM 在山地丘陵城市内涝治理中的应用[J]. 中国给水排水, 2018, 34(19): 118-123.  
WANG Ying, ZHOU Xiaowei. Application of InfoWorks ICM in the treatment of earthworms in mountainous and Hilly Cities. *Chinese Water Supply and Sewerage*, 2018, 34(19): 118-123. (in Chinese)
- [13] 郑颖青,吴启树,林笑茹,陈瑞闪. 近 106a 来登陆福建台风的统计分析[J]. 台湾海峡, 2006, 25(4): 541-547.  
ZHENG Yingqing, WU Qishu, LIN Xiaoru and CHEN Ruixue. Statistical analysis of typhoon landing in Fujian in recent 106 years. *Taiwan Strait*, 2006, 25(4): 541-547. (in Chinese)

- [14] 王佃来, 刘文萍, 黄心渊. 基于 Sen+Mann-Kendall 的北京植被变化趋势分析[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(5): 13-17.  
WANG Dianlai, LIU Wenping and HUANG Xinyuan. Analysis of Beijing vegetation change trend based on Sen+Mann-Kendall. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(5): 13-17. (in Chinese)
- [15] 张九香, 王选仓, 侯仰慕, 蔡力. 城市化进展对福州内涝的影响研究[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 146-151.  
ZHANG Jiuxiang, WANG Xuancang, HOU Yangmu and CAI Li. Study on the influence of urbanization progress on Fuzhou neiyu. Journal of Catastrophology, 2018, 33(1): 146-151. (in Chinese)
- [16] 邵崑, 潘文斌. 城市不透水面与降雨径流关系研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2012, 7(4): 20-27.  
SHAO Wei, PAN Wenbin. The relationship between urban impervious surface and rainfall runoff. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2012, 7(4): 20-27. (in Chinese)
- [17] 朴希桐, 向立云. 下垫面变化对城市内涝的影响[J]. 中国防汛抗旱, 2014, 24(6): 38-43.  
PIAO Xitong, XIANG Liyun. Impact of underlying surface changes on urban waterlogging. Flood Control and Drought Relief in China, 2014, 24(6): 38-43. (in Chinese)
- [18] 张冬冬, 严登华, 王义成, 鲁帆, 刘少华. 城市内涝灾害风险评估及综合应对研究进展[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 144-149.  
ZHANG Dongdong, YAN Denghua, WANG Yicheng, LU Fan and LIU Shaohua. Research progress on risk assessment and comprehensive response of urban disasters. Journal of Hydrology, 2014, 29(1): 144-149. (in Chinese)
- [19] 福州市规划设计研究院. 福州市排水(雨水)防涝综合规划(江北主城区) [R]. 2015-6.  
Fuzhou Institute of Planning and Design. Fuzhou comprehensive drainage (rainwater) and waterlogging control planning (Jiangbei main urban area). 2015-6. (in Chinese)