

文章编号: 1004- 4574(2011) 03- 0177- 06

基于情景模拟的上海中心城区居民住宅的 暴雨内涝风险评价

石 勇¹, 许世远², 石 纯², 孙阿丽², 赵庆良³

(1 郑州大学 旅游管理学院, 河南 郑州 450001; 2 华东师范大学 地理信息
科学教育部重点实验室, 上海 200062; 3 河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475001)

摘 要: 内涝是影响上海的主要灾害之一, 上海城区居民住宅特别是旧式住宅容易因之受损乃至倒塌。基于情景模拟和指标体系方法, 开展了上海中心城区住宅的风险评估。利用上海水务信息中心开发的内涝仿真模型, 设置暴雨情景并对该情景下的内涝进行模拟, 得到了区域水深分布状况, 利用 GIS 技术求得每座住宅的水深, 体现其在内涝中的暴露程度, 并构造暴露性评价模型, 综合反映区域总体暴露状况。根据旧式住宅较易受到影响的事实, 构造脆弱性指数, 最终衡量区域住宅面临灾害的整体风险状况, 实现区域间居民住宅内涝风险的对比分析。设置了五十年一遇的暴雨内涝情景, 针对中心城区各街道开展了实证研究, 最终评价结果显示出的危险性、暴露性、脆弱性和风险分布规律, 与实际情况基本符合。该方法可以为市政部门提供必要的信息, 提高内涝灾害的管理水平。

关键词: 上海市; 居民住宅; 暴雨内涝; 风险; 情景模拟; 地理信息系统

中图分类号: X43

文献标志码: A

Risk assessment of rainstorm waterlogging on old-style residences downtown in Shanghai based on scenario simulation

SHI Yong¹, XU Shiyuan², SHI Chun², SUN A-li², ZHAO Qing-liang³

(1. Department of Tourism and Management, University of Zhengzhou, Zhengzhou 450001, China

2. Key Laboratory of Geographic Information Science of Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062,

China; 3. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract The waterlogging is one of the most serious hazards in Shanghai Municipality. Residences, especially the old-style residences in downtown of Shanghai are prone to be affected and even collapse during waterlogging disasters. The purpose of this paper is to carry out risk assessment of residences in the region based on scenario simulation and indicator system. The rainstorm scenario was simulated by the rainstorm simulation model developed by Shanghai Flood Risk Information Center. The inundation depth of each residence obtained by GIS is a degree of exposure of it. Then an exposure assessment model was built to integrate different ranks of exposure. According to the fact that old-style residences are main hazard-bearing bodies during waterlogging hazards, we established a vulnerability indicator. Finally the total risk feature of a region and the comparison of disaster situation among different districts are realized. Finally, using the storm scenario of 50-year return period, taking the streets as the assessment units, we made an assessment on the risk of residences in Shanghai downtown. It is obvious from the research result

收稿日期: 2010- 04- 21 修回日期: 2011- 04- 19

基金项目: 国家自然科学基金重点、面上基金项目 (40730526, 40571006, 51079132); 上海市科技启明星项目 (09QA1401800); 河南省政府决策研究招标课题 (D311)

作者简介: 石勇 (1980-), 女, 讲师, 主要从事自然地理、环境演变与可持续发展研究. E-mail: yongsh@zzu.edu.cn

that the spatial distribution of hazard exposure vulnerability and risk are in accord with the fact The method of risk assessment is applicable which can provide necessary information for Shanghai Municipal Government to improve waterlogging management

Key words Shanghai Municipality; resilience; rainstorm waterlogging risk; scenario simulation; geographic information system (GIS)

上海北滨长江,东临东海,南依杭州湾,特殊的地理位置和低洼的平原地形使得水灾成为该市的心腹之患。上海的水灾主要包括黄浦江受上游太湖流域洪水下泄过境形成的洪灾、本地暴雨内涝形成的涝灾、沿海和沿江地区受风暴潮袭击而形成的潮灾,有些年份甚至发生“三碰头”的严重灾害,给这座人口密集、经济发达的国际大都市造成重大经济损失,制约了社会健康稳定发展。近年来,随着海平面上升、全球气候变暖的加剧,极端暴雨出现的几率越来越大,仅 2008 年上海市就遭受两次百年一遇暴雨袭击,由此而导致内涝灾害加剧,城区居民家庭进水现象较为普遍,造成内部财产和房屋结构损失。因涉及千家万户,内涝灾害已引起广泛重视,相关报道较多但侧重于灾情描述和简单的原因分析,深入研究较少,不足以为科学防灾减灾提供指导。国际减灾实践证明,灾害风险评估是灾害风险管理核心,也是防灾减灾的有效途径。本文以上海中心城区各街道为研究区域,利用情景模拟方法,构造危险性、暴露性和脆弱性评估模型,进而探讨暴雨内涝中民居风险的空间分布规律,为灾害管理提供借鉴。

1 研究方案

1.1 数据来源

1.1.1 地形数据

根据研究区 0.5m 等高线,通过 ARCGIS 的 workstation 模块,利用输入命令的方式,由等高线首先生成了 tin,由 tin 生成 lattice,由 lattice 生成研究区域的 DEM 图 (2m × 2m)。

1.1.2 降雨数据

根据上海市政部门采用的不同强度暴雨发生的频率(表 1),假定研究区域的降水空间均匀分布,按照各强度对暴雨进行模拟,可知各种内涝的受淹状况。

表 1 上海市不同重现期的暴雨强度

Table 1 Rainstorm intensities of different return periods in Shanghai Municipality

频率 /%	90	80	50	20	10	5	2	1
重现期 /a	1	1.3	2	5	10	20	50	100
降雨强度 / (mm · h ⁻¹)	36	-	45	58	68	77	91	101

1.1.3 民居分布数据

另外,使用比例尺为 1:1 万的 2006 年航片解译出住宅分布图,在 ERDAS MAGNE 中,首先对遥感图像进行几何精纠正,而后对航片进行拼接处理,并对不同时相的图像进行增强处理,最后通过人机交互解译得到居民住宅的空间分布图。

1.1.4 研究区行政界限

选择上海中心城区各街道的行政区划图(2006)进行数字化过程。首先选择地图上已知坐标的明确地物作为控制点,随后将点、线、面各要素分别输入计算机,得到一个 Coverage,建立拓扑结构,修改数字化错误,重建拓扑结构,直到没有错误为止。在 ARCED II 中追加各 Coverage 所需的要素属性,着重加入街道行政边界类型,在多边形属性文件中注明各街道的名称、代码等数据项(图 1)。

1.2 方法

1.2.1 情景模拟方法

情景模拟法在灾害研究领域,是以一定历史灾害数据为基础,假定灾害事件的多个关键影响因素有可能发生的前提下基于成因机制构造出未来的灾害情景模型,从而用来评估灾害的不同致灾可能性和相伴生的灾害可能活动强度^[1],对自然灾害进行情景模拟。对假设或历史灾情模拟的结果,可直接体现自然灾害的

强度、范围等危险特征,为进一步精确开展暴露性评估奠定基础。



图 1 上海中心城区各街道分布图

Fig. 1 Distribution map of streets in central city proper of Shanghai municipality

1.2.2 暴露性指数

利用 GIS 的空间分析工具,将暴雨情景模拟结果与中心城区住宅的数据层进行叠置,最终得到该情景下的住宅内涝水深分布,即(每座)建筑的暴雨内涝暴露性分布,承灾体是否受灾、受灾强度、受灾数量等暴露状况一览无余。

从区域分异的地理学角度,我们尝试构造住宅的暴雨内涝暴露指数^[2],对中心城区各街道住宅的内涝暴露性进行对比、分析与评价。首先,根据内涝对住宅产生的实际影响,据水深将内涝状况划分为 4 个等级(室外积水深度 10cm 以下; 10~ 20cm; 20~ 30cm; 30cm 以上),由每座住宅的实际水深及以上划分的标准,对每座住宅进行暴露性分级。

在此基础上,利用 GIS 统计分析各行政区每种内涝等级的住宅面积,并求出该面积在整个中心城区该内涝等级的住宅面积中所占的比例。按照各内涝等级对区域整体住宅暴露性的贡献不同,给 I-IV 级的内涝等级分别赋予权重 0.2、0.4、0.6 和 0.8。最终,该情景各区域住宅的暴雨内涝暴露性指数(W_j)即为该区不同内涝等级的住宅面积在整个中心城区该内涝等级中所占比例的加权和,用公式表述该过程如下:

特定情景下各区不同内涝等级的住宅面积占整个中心城区该内涝级别住宅面积的比例:

$$g_i(u_j) = f_i(u_j) / C_i \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n),$$

其中, $g_i(u_j)$ 指区域 j 中暴露等级 i 的住宅面积在整个中心城区该暴露级别的总住宅面积中所占比例,其中 $m = 4, n = 77$; $f_i(u_j)$ 代表各行政区每种内涝等级的被淹住宅面积, C_i 指整个中心城区该暴露级别的总住宅面积, $C_i = \sum_{j=1}^n f_i(u_j)$; W_i 代表 I-IV 级的内涝等级的权重,则 $W_j = \sum_{i=1}^m g_i(u_j) \cdot W_i$ 。

1.2.3 脆弱性指数

暴露在自然灾害中的承灾体,其敏感性、应对能力和恢复力如何,直接决定了其面临灾害时的脆弱性特征。历史灾情显示,上海地区未经改造和拆迁的旧式住宅,是内涝灾害的主要承灾体,主要原因包括:(1)建筑本身陈旧,结构脆弱,经水浸泡容易损害,倒塌现象时有发生;(2)建筑年限较早,对内涝的防范标准不够;(3)旧式住宅在老城区所占比例较大,该地区排水设施陈旧,改造与管理的难度较大。在此,利用旧式住宅面积占总住宅面积的比例构造区域住宅面临暴雨内涝灾害的脆弱性指数。

1.2.4 风险评估模型

由灾害系统理论,危险性是灾难产生的首要条件,是灾情和风险评估的第一步,衡量自然系统致灾因子的致险程度,暴露性指人类社会暴露于自然灾害中的程度,是致灾因子与承灾体相互作用的结果,是灾难产生的直接原因,脆弱性衡量暴露于一定强度灾害下的承灾体的损失程度,三者共同决定了灾害风险大小。

$$R = H \cap E \cap V \tag{1}$$

式中: R 为风险; H 为危险性; V 即脆弱性; E 为暴露性

不考虑人为等社会经济系统产生的灾中应对能力与灾后恢复力, 将情景模拟显示的承灾体暴露性与脆弱性叠加, 即为宏观意义上的风险。在此, 暴露性反映暴露于不同水深级别的住宅的总体状况, 脆弱性反映这些房屋中旧式住宅所占的比例, 相比于相加叠加而言, 相乘关系更能反映暴露性、敏感性与脆弱性的逻辑关系, 根据暴露性与脆弱性评价结果, 我们可以得到中心城区各街道住宅的暴雨内涝风险值。

2 结果与分析

2.1 危险性分布图

上海市防汛信息中心与河海大学、中国水利水电科学研究院合作开发的上海市暴雨内涝仿真模型, 利用二维不恒定流水动力学模型和计算机信息管理及图形技术, 采用 Power Station Fortran 和 Visual Basic 编程语言, 在 Windows 环境下开发。针对上海特殊的平原河网特点, 该模型在内河和降雨边界条件等方面进行改进处理, 适应上海的区域特性, 可以根据降水信息直接模拟城区内涝情景, 并通过“麦莎”台风的模拟验证了模型的有效性^[3]。

因为上海市内多属感潮河网, 河道、管道排水直接受潮位影响, 我们假设此时潮位为上海“9711”台风时的极端潮位(表 2)。假定中心城区的降水空间均匀分布, 选择 50 a 一遇的小时降雨量标准设置连续降水 24 h 的暴雨, 模拟中心城区的暴雨内涝情景(图 2)。其中长宁与普陀区西侧两块区域因数据不足, 未能得到模拟。模拟结果显示, 中心城区大部分地区水深处于 30 cm 以下。

表 2 “9711”台风影响期间黄浦江最高潮位对照表

Table 2 Highest tide level of each station along Huangpu River during “9711” Typhoon

潮站	吴淞	黄浦公园	米市渡
潮位 /m	5.99	5.72	4.27
增水 /m	1.45	1.49	0.96

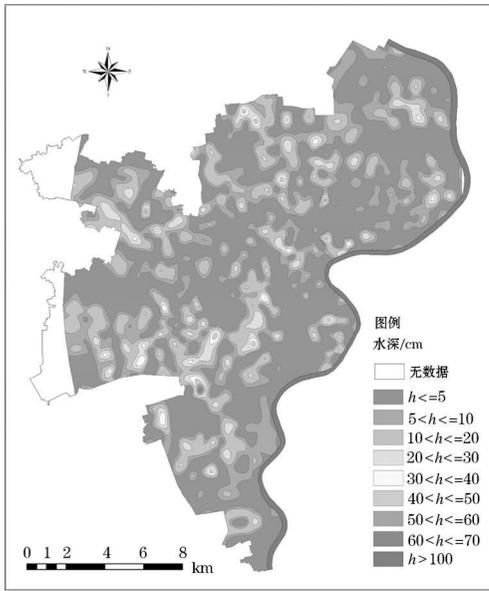


图 2 50 年一遇暴雨情景下中心城区的水深分布图
Fig. 2 Water depth distribution map of central city proper of Shanghai in rainstorm scenario with 50-year return period

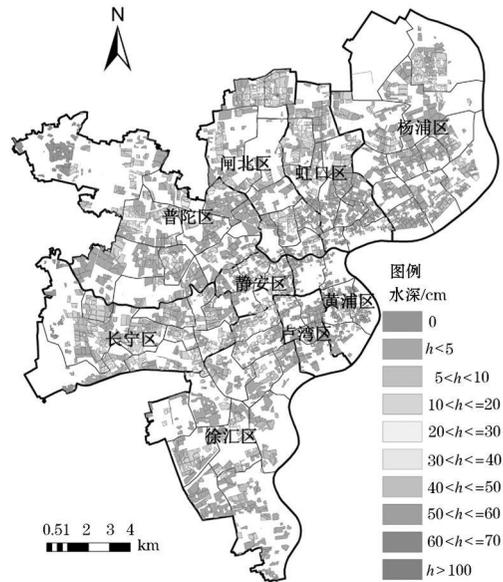


图 3 50 年一遇暴雨情景下住宅水深分布图
Fig. 3 Water depth distribution map of inundated residences in central city proper of Shanghai in rainstorm scenario with 50-year return period

2.2 中心城区各街道住宅的暴露性评价

利用 GIS 的空间分析工具, 将 50 a 一遇的暴雨情景模拟结果与中心城区住宅的数据层进行叠置, 可以看出该灾害对城市不同位置的住宅造成不同程度的内涝灾情(图 3)。

利用上述公式, 求得该情景下中心城区 9 个行政区 77 个街道的各水深范围住宅占全区该水深住宅比例的加权和, 因数值较小, 我们统一乘以 100, 即得各街道居住房屋的暴雨内涝暴露性指数。按照评价结果, 对

中心城区各街道住宅的暴露性指数进行分级, 将结果展示在分级图上, 如图 4

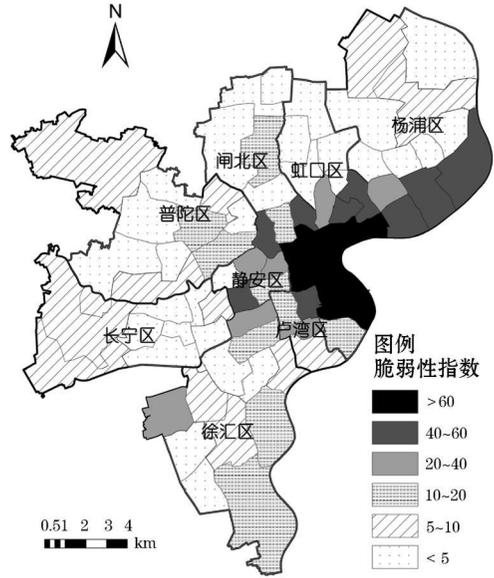
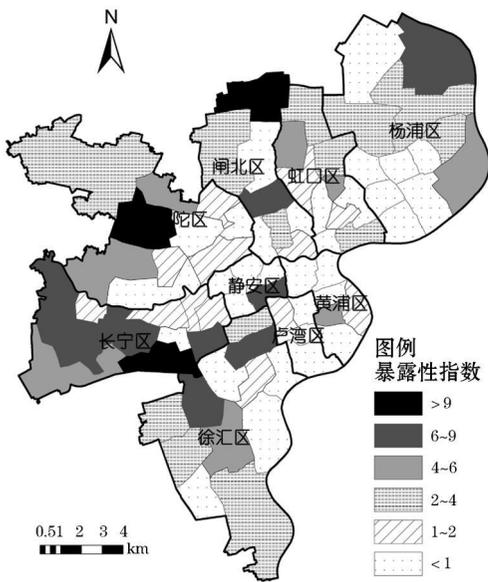


图 4 中心城区各街道住宅的暴雨内涝暴露性分布图
 Fig 4 Exposure distribution map of rainstorm-inundated residences in streets of central city proper of Shanghai

图 5 中心城区各街道住宅的暴雨内涝脆弱性分布图
 Fig 5 Vulnerability distribution map of rainstorm-inundated residences in streets of central city proper of Shanghai

2.3 脆弱性评估

根据居民住宅的属性信息, 利用 ARCGIS 将旧式住宅从所有住宅的图层中提取出来, 求出旧式住宅面积占总住宅面积的比例, 衡量区域住宅面临暴雨灾害的脆弱性。因旧式住宅比例较小, 数值太小, 我们仍旧采取乘以 100 的做法, 扩大该值, 得到中心城区各街道住宅的脆弱性指数。按照同样道理, 我们根据脆弱性大小进行分级, 各街道住宅脆弱性分级的结果展示, 即图 5。

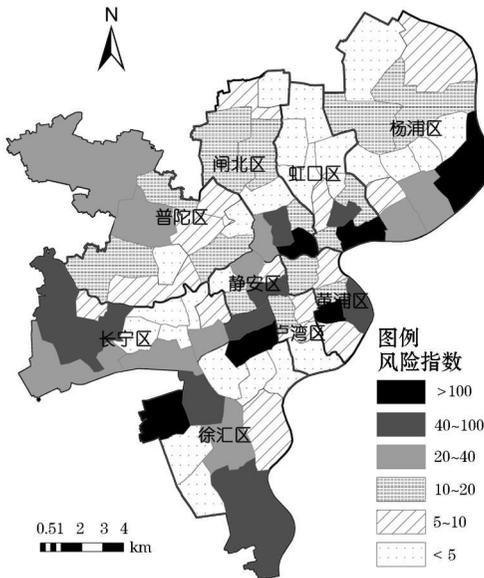


图 6 中心城区各街道住宅的暴雨内涝风险分布图

Fig 6 Risk distribution map of rainstorm-inundated residences in streets of central city proper of Shanghai

2.4 风险评估

暴雨内涝的情景模拟之下, 暴露性反映暴露于不同水深级别的承灾体的受灾状况, 脆弱性反映承灾体抵御灾害的能力, 将暴露性与脆弱性评价结果相乘叠置, 我们可以得到中心城区各街道住宅的暴雨内涝风险值。由于中心城区街道数目较多, 据风险大小进行分级, 各街道风险分级的结果展示, 如图 6。

将不同风险等级的各个街道定位到所属的区,如表 3 所示,从中可以看出,杨浦、虹口、徐汇与长宁四个区,在风险较低的级别里,街道数目最多;普陀区与闸北区,在风险中等的级别里,街道数目最多;徐汇区在风险较高的级别里,街道最多,其次是虹口区、闸北区和黄浦区。

表 3 中心城区各区不同风险等级的街道

Table 3 Streets with different risk ranks of residences in districts of central city proper of Shanghai

区名	$R \leq 5$	$5 < R \leq 10$	$10 < R \leq 20$	$20 < R \leq 40$	$40 < R \leq 100$	$R > 100$
杨浦区	四平路、延吉新村、控江路、高境镇、长白新村	殷行镇、江浦路	五角场、五角场镇	大桥、平凉路	-	定海路
虹口区	凉城新村、广中路、曲阳路、欧阳路、江湾镇	四川北路	乍浦路、新港路	-	嘉兴路	提篮桥
闸北区	临汾路、共和新村	彭浦镇	大宁路、宝山路、彭浦新村、	天目西路	芷江西路	北站
普陀区	宜川路、曹杨新村	甘泉路、石泉路、长风新村	长寿路、长征镇	桃浦镇、真如镇	-	-
静安区	曹家渡	石门二路	静安寺	江宁路	南京西路	-
黄浦区	-	半淞园路、外滩	南京东路、豫园	-	小东门	老西门
徐汇区	康健、徐家汇、斜土路、枫林路、长桥	龙华镇	-	漕河泾	龙华乡、湖南路、田林	天平虹梅
长宁区	仙霞路、华阳路、周家桥、天山路	北新泾、江苏路	-	程家桥、虹桥路、新华路	新泾镇	-
卢湾区	五里桥	打浦桥、淮海中路	瑞金二路	-	-	-

3 结语

针对上海中心城区暴雨内涝的主要承灾体——居民住宅,本研究利用情景模拟,结合指标体系,缩短空间尺度,以中心城区各街道为评估单位,从致灾因子分析、暴露分析和脆弱性分析三方面入手,构造风险评估的模型,得到研究区域灾害情景下承灾体的危险性、暴露性、脆弱性和风险等级分布图,直观体现各要素的空间分异规律,形成灾害影响状况的可视化表达,为地方政府及相关部门资源配置等防灾减灾决策、科学开展灾害管理奠定基础,为制定灾害风险应急预案提供参考依据。该方法存在一些缺陷,仅仅依赖水深、不考虑淹没时间及被淹物品的成本价值等来评估暴露性,在一定程度上影响了评估精度,另外,由内涝造成的间接影响没能充分考虑,脆弱性评估部分,由于数据所限,只考虑敏感性,没有考虑人的主观能动性产生的应对能力和恢复力,这些不足之处都说明涉及该方法和成果的研究还有待于进一步的改善与深化。

参考文献:

[1] 葛全胜, 邹铭, 郑景云等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008

[2] Yong Shi, Chun Shi, Shi-Yuan Xu, A-Li Sun, Jun Wang. Exposure Assessment of Rainstorm Waterlogging on Old-style Residences in Shanghai Based on Scenario Simulation[J]. Natural Hazards, 2010, 53(2): 259

[3] 邱绍伟, 董增川, 李娜等. 暴雨洪水仿真模型在上海防汛风险分析中的应用[J]. 水力发电, 2008, 34(5): 11-14.