

基于社区的台风灾害概率风险评估 ——以上海市杨浦区富禄里居委地区为例

温家洪¹, 黄 蕙¹, 陈 珂², 叶欣梁^{1,3}, 胡恒智¹, 华震阳¹

(1. 上海师范大学地理系, 上海 200062; 2. 华东师范大学地理系, 上海 200062;
3. 上海工程技术大学工商管理系, 上海 201620)

摘要: 基于PGIS方法, 以上海市杨浦区富禄里居委地区为案例, 开展给定概率下的社区台风风险分析。结果表明, 近60 a影响上海市区的台风中, 最大风速大于17.2 m/s的超越概率(AEP)为12%。在此情景下, 共有52幢建筑物(占全部建筑物的15.3%)有台风大风损失。上海市区最大的一次台风过程雨量达306.5 mm, 其超越概率为1.8%。在该情景下, 研究区地面积水最深处达0.61 m, 有115幢建筑物(占全部建筑物的33.8%)有经济损失。在上述情景下, 台风大风与过程雨量造成的损失对当地居民尚属可接受风险范围。

关键词: 台风; 概率风险; 参与式GIS; 社区; 上海

中图分类号: P444 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)03-0348-08

1994年, 第一次世界减灾大会提出安全社区应当具有安全防范与减灾的意识、技能、设施条件、预警系统、预防体系和工作网络^[1]。1999年, 在日内瓦召开的第二次世界减灾大会的管理论坛强调要关注城市的防灾减灾, 尤其要将社区视为减灾的基本单元^[2]。2005年, 联合国减灾战略提出的《2005~2015年兵库行动纲领: 加强国家和社会的抗灾能力》^[3], 进一步强调了社区在全社会减灾降险中的重要性, 指出尤其需要加强社区在减小灾害风险的能力建设。强调确定、评估和监测灾害风险并加强预警是减灾的优先主题^[3,4]。

上海东濒长江入海口, 南枕杭州湾, 处于太湖为中心的碟形洼地的东缘。由于上海人口、经济要素密集, 城市建筑与基础设施老化, 以及滨江临海的地理位置, 上海极易受自然灾害的侵袭, 并造成严重损失^[5,6]。其中, 汛期的台风(泛指热带气旋, 包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风, 下同)^[7]、大暴雨和风暴潮是上海主要自然灾害和重点灾种。

1949~2007年间, 以上海为中心的550 km范围内经过并影响到本市的台风约200个, 平均每年台风频数为3.5个, 且带来大风、暴雨、风暴潮等灾害^[8]。在上世纪的100 a中, 就有66 a上海遭受了较严重水灾, 台风暴雨是一个重要因素^[9]。

本文选择上海市杨浦区富禄里居委地区为实证研究区。富禄里北至周家牌路, 西至临青路, 南到杨树浦路, 东界位于杨树浦路2125弄(图1), 面积约28 545 m²。有居民317户, 人口密度大约为44 420人/km²。该区地势低洼, 典型的棚户老城区景观, 是上海台风暴雨内涝灾害频发的地区之一。

本文采用参与式GIS(Participatory GIS, PGIS)的方法, 通过对富禄里居委地区居民进行现场问卷和访谈, 在对台风和引发的暴雨内涝历史灾情、自然环境和社会经济风险要素辨识的基础上, 从致灾因子、脆弱性和暴露分析入手, 开展某一给定概率下的台风风险评估。分析台风灾害损失与风险的空间分布, 及其影响因素, 为社区针对性的防灾救灾、制定应急预案提供参考。

收稿日期: 2011-03-10; **修订日期:** 2011-06-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40730526、41071324)、上海市重点学科建设项目(S03406)、上海市科委创新行动计划(08240514000)项目资助。

作者简介: 温家洪(1966-), 男, 江西兴国人, 教授, 博导, 理学博士, 主要从事灾害风险建模、风险分析与管理、遥感与GIS应用研究。
E-mail: jhwen@shnu.edu.cn

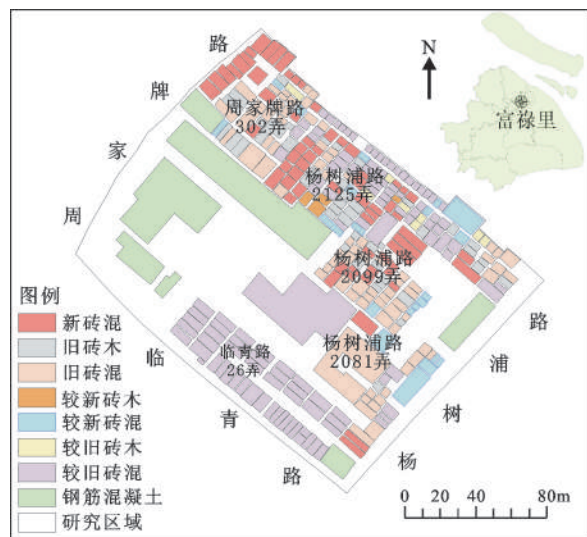


图1 研究区

Fig. 1 A sketch map of the study area

1 方法与数据

1.1 研究方法

自然灾害风险的描述,须从给定时间段内,事件场景、发生概率或可能性以及造成的负面后果3个方面进行描述^[10],可表达为:

$$R_{\text{risk}} = \{ \langle S_i, P_i, C_i \rangle \}_{i \in N} \quad (1)$$

其中, R_{risk} 为风险; S_i 为风险场景; P_i 为场景发生概率; C_i 为损失或导致的负面后果; N 为事件场景集。

按照该模型,风险是不同概率下的损失值,这就是基于(概率)情景的灾害风险。要理解风险须分析三个问题:会发生什么事件,发生的概率有多大,产生什么影响(损失)^[11]。自然灾害风险基本表达形式有:一是损失—超越概率(重现期)曲线,另一是不同超越概率下的损失空间分布图^[12-15]。

如果一个随机事件 x 出现大于等于某一水平 x_r 时定义为极端事件,则极端事件的重现期 T 为大于等于某一水平的随机事件 ($X \geq x_r$) 在较长时期内重复出现的平均时间间隔,常以多少年一遇表达^[16,17]:

$$T = (n+1)/m \quad (2)$$

式中, n 为事件记录的年数, m 为随机事件的强度排序。年超越概率(AEP, 下式值为 A_{AEP}) 为重现期的倒数:

$$A_{\text{AEP}} = (1/T) \times 100\% \quad (3)$$

关于致灾因子、脆弱性和风险,以及应对灾害的措施,通过对社区居民和管理服务机构进行实地调研和问卷,了解当地居民对于自然灾害风险

的认识,判断他们对于各类自然灾害的处置能力与潜在财产损失情况,可以有效地辨识导致灾害的风险要素,提高估算灾害风险的精度^[18,19]。应用GIS方法和整合本地风险知识,即PGIS方法,在灾害风险分析与管理领域应运而生,成为近年来国际社区灾害风险评估倡导的一套方法^[20,21]。

1.2 数据采集与处理

本文涉及的主要数据包括:1949~2008年影响上海市区的台风年最大风速和最大过程雨量数据;富禄里地区2006年4 m分辨率航片;富禄里地区地势高差与DEM数据;富禄里地区建筑物属性数据以及台风损失信息。

1) 风速和雨量数据均来自于徐家汇(龙华)气象站,该站位于市区,能够比较合理地代表研究区域的台风大风和降雨情况。分别计算出不同风速的年超越概率(AEP)和不同降水量的年超越概率(AEP)。然后选择超越概率最小(即台风强度最大的)的最大风速和过程雨量极值,在上述情景下讨论损失与风险问题。

2) 研究区地势高差的测量由水准仪测得。在建筑物密集和走访得知台风暴雨受灾严重的区域采集得更密集,而在建筑物稀疏和未受灾或受灾程度小的区域采集相对少一些,共采集93个点。再利用上海市测绘局提供的GPS高程数据,转换为整个区域的实际高程点集。

3) 对需要数字化的航片定义投影,再进行目视解译。

4) 富禄里地区建筑物属性数据以及热带气旋造成的财物损失情况由实地调查、问卷调查和访谈获得。分别从使用性质和建筑结构对建筑物分类,再附加上地址和台阶高度。采集标准均按国家相关建筑标准进行。

2 灾害强度和频率分析

2.1 近60 a影响上海市区的热带气旋强度和概率

已有研究提出,上海受到台风影响造成较大损失时,市区的风速为6级(含6级,约10.8 m/s)以上^[22,23],郊区的风速在8级(含8级,约17.2 m/s)以上,且过程雨量不小于50 mm^[24,25]。采用上海市区龙华站的风速 ≥ 10.8 m/s,且站点的过程雨量均 ≥ 50 mm 来确定影响上海市区的台风,统计出1949~2008年间影响上海地区的台风共96个。利用式(2)和(3),可得近60 a影响上海市区

的台风最大风速—超越概率和最大过程雨量—超越概率关系(图2)。

由图2可得,最大风速大于10.8 m/s的比例占到52.5%,说明影响上海的台风一半以上在市区的最大风速达到或超过6级程度,平均每1.9 a就有一次。最大风速大于17.2 m/s的比例明显减小,只有12%,发生频率仅为9.2 a一次。根据气象数据分析显示,20世纪50~60年代台风期间,市区最大风速在8或8级以上的次数还比较多,由于近40 a间上海市区高楼林立,下垫面经过前所未有的改变,使影响市区的台风风速减小,因台风带来8级以上风速的频率在下降。

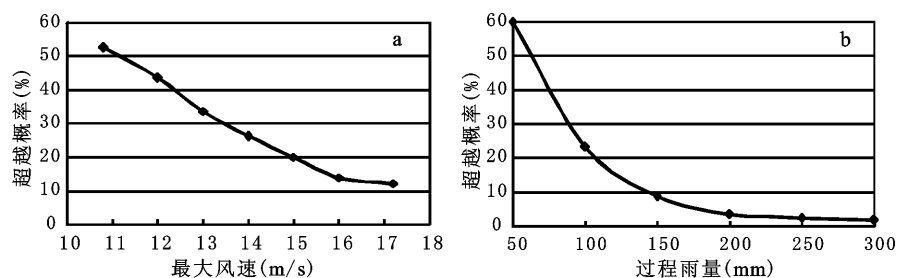


图2 近60 a影响上海市区的台风年最大风速-超越概率(a)和年最大过程雨量-超越概率(b)关系

Fig.2 Relation of annual exceeding probability with the maximum wind speed (a) and the accumulated rainfall (b) of typhoon in Shanghai urban region over the recent 60 year

本区最高点3.83 m,最低点2.78 m,平均为3.28 m,总体来说,富禄里地区的地势普遍较低,即使是最高点也比上海市平均海拔4.0 m低了0.17 m。

采用泛克里格法对高程点进行插值,获得富禄里地区DEM栅格图。地势最低的区域在北部(大致位于周家牌路302弄内),最高区域在(临青路66号的建建材市场内和2 125弄1~21号)。

2) 积水深度分布。利用先前测量过高程的某个点的积水深度,把该点的水深加上它的地势高程即得到这一点的积水水平面高度,再用这个数值分别减去其余92个点的高程数值,得到对应的水淹深度。但水淹数据还要综合考虑走访的实际情况,通过查看当地历年水淹留在建筑物墙壁上的青苔和水渍痕迹,以及访问居民得到“麦莎”台风的水淹深度来调整。

采用反距离加权插值法对水淹深度数据进行内插,得到淹没深度的空间分布,并综合利用ArcGIS和Google Sketchup构建了富禄里地区

近60 a影响上海市区的台风中,过程雨量超过50 mm的比例占到60%,大多数影响上海市区的台风累计雨量达到或超过暴雨程度,平均每隔1.7 a就会发生一次,频率很高,这是富禄里地区台风暴雨影响严重的原因之一。过程雨量超过100 mm的比例占到22%,平均每隔4.5 a就会有一次。从有气象记录以来,上海市区最大的一次台风过程雨量出现在2005年8月6~7日,当时0509号“麦莎”台风共带来306.5 mm的特大暴雨,造成直接经济损失13.58亿元,受灾人口94.6万,死亡7人^[26]。

2.2 地势和积水深度

1) 富禄里地区的地势。根据所测高程点集,

台风暴雨内涝的虚拟淹没场景(图3)。研究区域内淹没最深处达0.61 m,位于周家牌路16、17和22号门前小弄堂,根据地势高差计算出来的淹没深度和实地调查得到的结果吻合。

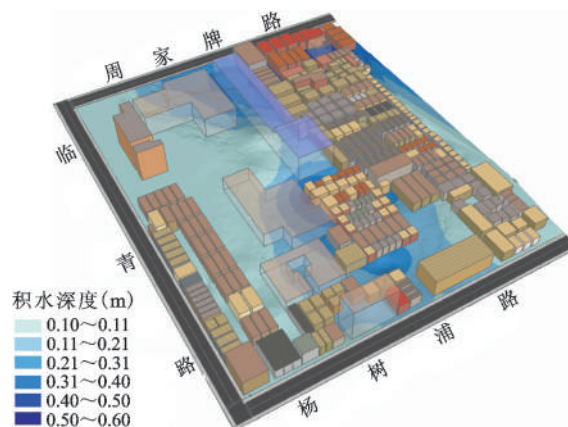


图3 台风过程雨量在AEP为1.8%情景下的地面积水深度(m)

Fig.3 Inundation depth at 1.8% AEP of accumulated rainfall in a typhoon process

3 基于情景的台风灾害承灾体的暴露与脆弱性评估

由2006年上海市4 m分辨率航片数字化统计,富禄里共有房屋340幢,绝大部分为私房。这些私房大多有60 a以上的历史,年代久远。富禄里建筑密度很高,特别是杨树浦路2 125、2 099弄及周家牌路302弄。

笔者对建筑物属性进行了调查,并通过问卷和访问的形式获得建筑物损失情况,分析建筑物的暴露与脆弱性^[27-29]。

3.1 承灾体属性调查

建筑物按照使用性质为居住类共297幢,占总数的87.35%。商业类共38幢,占总数的11.18%。工业类2幢,都是库房。另有公共服务3幢,都为居委会及其图书室和活动房之用。

通过实地走访与调查,发现建筑物所用材料和结构相同,房屋新旧也会引起台风灾害损失程度不同。因此,把研究区内常见的几种建筑结构(砖混结构、砖木结构及钢筋混凝土结构)再细分为8种(表1)。研究区内建筑物按照建筑结构分类,占比例最大的是较旧砖混结构,其次是旧砖混结构,两者相加占到总数5成多(图1、表1)。

表1 按建筑结构分类的建筑物统计表

Table 1 Building under structure classification

建筑结构	数量(幢)	占总数比例(%)
新砖混结构	67	19.7
较新砖混结构	21	6.2
较旧砖混结构	113	33.2
旧砖混结构	77	22.7
较新砖木结构	4	1.1
较旧砖木结构	8	2.4
旧砖木结构	43	12.7
钢筋混凝土结构	7	2.1

台阶/门槛高度对暴雨积水损失影响很大,统计建筑物台阶/门槛高度的十分必要(表2)。

3.2 问卷调查及统计结果

由于国外对台风灾害损失评估往往采用调查居民保单的做法或从工程学进行实验模拟^[30,31],而在国内目前对自己房屋和财产投自然灾害保险的家庭很少,难以通过居民保单来评估损失。本文采取问卷调查结合走访,通过这种半定量的形式比较真实地评估在某种台风灾害情景下的损失情况。

表2 建筑物台阶/门槛高度统计表

Table 2 Building step/doorsill heights

台阶/门槛高度(m)	数量(幢)	占总数比例(%)
0	4	1.1
0~0.1	72	21.1
0.1~0.2	124	36.7
0.2~0.3	48	14.1
0.3~0.5	77	22.6
>0.5	15	4.4

共发放问卷178份,收回有效问卷159份。19户不愿意接受问卷和访问,是通过询问左邻右舍的方式大致了解有无受灾,受灾情况何如。

3.3 台风大风灾害承灾体脆弱性评估

用台风大风是否造成损失来表示承灾体的脆弱性^[31]。根据访问调查和问卷统计结果,得到在台风最大风速AEP为12%情景下的建筑物损失分布(图4)。

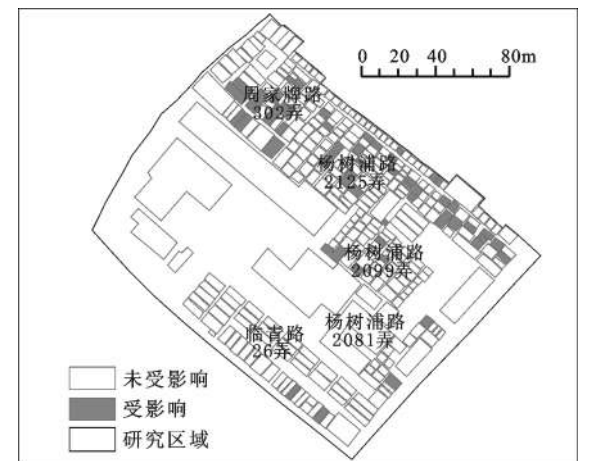


图4 台风最大风速在AEP为12%情景下的建筑物损失分布

Fig.4 Building loss distribution at 12% AEP of the maximum wind speed

图4可得,有台风大风损失的建筑物多分布在杨树浦路2 125弄和周家牌路302弄,另外杨树浦路2 099弄和一些街面房屋也有零星分布。把有损失的建筑物按建筑结构来统计,旧砖木和较旧砖木结构的建筑更容易受到台风大风的影响,占同类建筑总数的比例最高。新砖混和较新砖混建筑物的台风大风脆弱性都很小。不难发现,台风大风的建筑物脆弱性与建筑结构有着紧密关系,往往建筑结构是木结构,建筑越陈旧就越容易在台风大风遭受损失。

在 AEP 为 12 % 的情景下, 富禄里地区有 52 幢建筑物遭受到台风大风影响, 发生损失。但台风大风所造成的危害远没有台风暴雨来得严重, 这一方面因为近几年影响上海的台风风力普遍不是太强; 另一方面也与很多居民把以前的砖木房改建为砖混房有关。

3.4 台风暴雨灾害承灾体暴露与脆弱性评估

结合问卷、访问和现场调查得到富禄里地区在台风暴雨 AEP 为 1.8 % (与“麦莎”台风同等过程雨量级别) 情景下建筑物的暴露、脆弱性。

经建筑物台阶/门槛高度修正后, 台风过程雨量 AEP 为 1.8 % 情景下, 水淹到房屋中的有 129 幢 (表 3), 造成损失的有 101 户, 没有损失的为 28 户。另有 14 幢因建筑结构老化漏雨而造成损失, 这些房屋基本都分布在杨树浦路 2 125 弄。两项合计共有 143 户建筑物受台风暴雨影响。

表 3 积水涌入建筑物内深度及主要分布区域

Table 3 Inundation depth inside buildings and main distribution areas

积水涌入建筑物 内深度(m)	数量 (幢)	主要分布区域
0~0.05	24	周家牌路 302 弄、杨树浦路 2 125 弄
0.05~0.1	7	周家牌路 302 弄
0.1~0.15	14	杨树浦路 2 099 弄
0.15~0.2	32	周家牌路 302 弄、杨树浦路 2 099 弄、杨树浦路 2 125 弄
0.2~0.3	23	杨树浦路 2 099 弄
0.3~0.6	29	周家牌路 302 弄、杨树浦路 2 099 弄

4 基于情景的台风灾害风险评估

在前节台风灾害暴露与脆弱性评估的基础上对建筑物损失进行分级, 借助 ArcGIS 技术^[32], 对富禄里地区进行台风灾害风险评估。

4.1 基于情景的台风大风灾害风险评估

根据问卷和访谈调查的结果, 把因台风大风造成的损失划分为 6 级, 分别是 0 元 (无损失); 0~100 元; 100~250 元; 250~400 元; 400~500 元; 500~600 元。得到 AEP 为 12 % 情景下的台风大风灾害风险分布图 (图 5)。

在最大风速 AEP 为 12 % 情景下, 共有 52 幢建筑物有台风大风损失。其中, 有 34 幢 (占研究区全部建筑物的 10 %) 损失数额在 0~100 元之间; 有 11 幢 (占 3.2 %) 损失数额在 150~200 元之间; 有 4

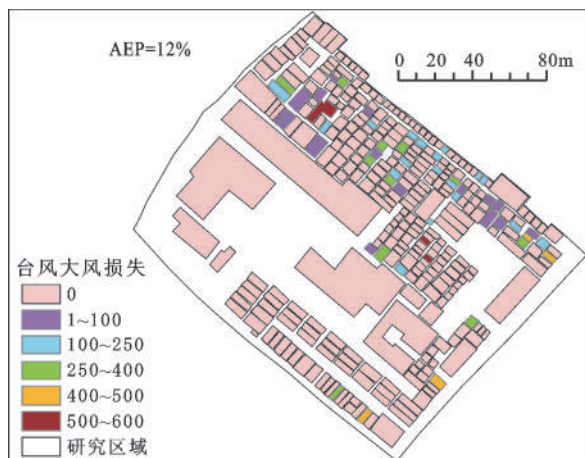


图 5 AEP 为 12 % 情景下的台风大风灾害风险分布

Fig. 5 Disaster risk distribution of strong wind induced by typhoon at 12% AEP of the maximum wind speed

幢 (占 1.2 %) 损失数额为 300 元; 有 1 幢 (占 0.3 %) 损失数额为 500 元; 有 2 幢 (占 0.6 %) 损失数额为 600 元。居住类建筑共 47 幢, 占到有损失建筑总数 9 成以上, 商业类建筑 4 幢, 公共服务类有 1 幢。在台风大风损失 ≥ 250 元的建筑物中, 建筑结构为旧砖木的有 5 幢; 较旧砖混有 2 幢。大风损失比较大的建筑物基本为砖木结构, 即使是砖混结构也是较早建造, 现在比较陈旧。

图 5 看出, 损失在 0~100 元的建筑物多分布在杨树浦路 2 125 弄内, 另外周家牌路 302 弄和杨树浦路 2 099 弄也有少量分布。杨树浦路 2 081 弄的私房基本都改建过, 建筑结构比过去有了很大改进, 所以台风大风的风险很低。损失在 100~250 元的建筑物分布比较零散, 几个弄堂都有所分布。损失在 250~400 元的建筑物基本分布在街面小店, 这是因为一般一块店招制作的成本价在 250~300 元左右。损失在 400~500 元的建筑物只有一幢, 在周家牌路 12 号。损失在 500~600 元的建筑物两幢都位于杨树浦路 2 099 弄, 它们都被台风大风刮掉屋顶。

4.2 基于情景的台风暴雨灾害风险评估

根据问卷调查和访谈的结果, 把台风暴雨造成的损失划分为 6 个等级, 分别是 0 元 (无损失); 0~200 元; 200~500 元; 500~1 000 元; 1 000~1 500 元; 1 500~2 000 元。得到 AEP 为 1.8 % 情景下的台风暴雨灾害风险分布 (图 6)。

在过程雨量 AEP 为 1.8 % 的情景下, 共有 115 幢建筑物有损失, 其中, 11 幢建筑 (占研究区全部

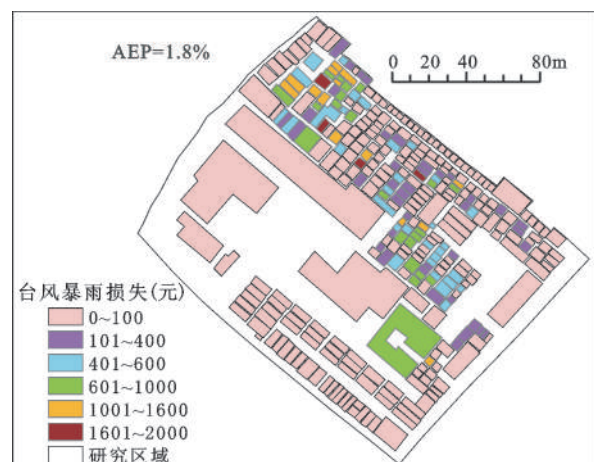


图6 AEP为1.8%情景下的台风暴雨灾害风险分布

Fig.6 Disaster risk distribution of rainstorm induced by typhoon at 1.8% AEP of the accumulated rainfall

建筑物的3.2%)的损失在0~200元之间;55幢建筑(占16.2%)损失在200~500元;31幢建筑(占9.1%)损失在500~1 000元;13幢建筑(占3.8%)损失在1 000~1 500元;5幢(占1.5%)的建筑物损失在2000元以上。所有有台风暴雨损失的建筑物都为居住类建筑,可见居住类建筑的台风暴雨风险比商业类、工业类和公共服务建筑都要高。在台风暴雨损失 ≥ 500 元的建筑物中,建筑结构为新砖混7幢(占有暴雨损失建筑物的9.7%),较新砖混4幢(占5.6%),较旧砖混5幢(占6.9%),旧砖混28幢(占38.9%),较旧砖木4幢(占4.2%),旧砖木25幢(占34.7%)。由此可以看出暴雨损失相对较大的建筑物大部分为砖木结构,此外旧砖混结构的比例也不小,砖木和旧砖混结构加起来共占77.8%。

总的来说,与台风大风造成的损失相比,台风暴雨的损失要大很多,最大达2 000元左右,并且受影响建筑数量也多。

图6看出,损失在0~200元的建筑物集中在杨树浦路2 125弄。该弄部分地区地势相对较高,再加上下水管道经过改造、台阶普遍造的比较高等原因,因此暴雨积水漫入的程度较轻。损失在200~500元的建筑物分布在周家牌路302弄、杨树浦路2 125弄及杨树浦路2 099弄几块区域。损失在500~1 000元的建筑物基本集中在周家牌路302弄、杨树浦路2 081及杨树浦路2 099,虽然分布范围与损失在200~500元的建筑物的分布相似,不过数量比后者有较大幅度减

少。损失在1 000~1 500元的建筑物分布很零星,杨树浦路2 081弄有1幢、杨树浦路2 099弄有2幢,杨树浦路2 125弄有3幢,其余都在周家牌路302弄。损失在1 500~2 000元的建筑物都在杨树浦路2 125弄和周家牌路302弄内,这5幢房屋有3幢是因为所处的地势很低,造成积水淹入家中40~50 cm引起财物损失。另两幢是因为太破旧,屋顶漏雨造成屋内电器受损。

5 结语与讨论

依据1949~2008年的台风数据,结合访谈、问卷调查和实地测量,对富禄里社区的台风灾害进行分析。得出以下主要结论:

1) 近60 a影响上海市区的台风中,最大风速大于10.8 m/s的比例占到52.5%;而最大风速大于17.2 m/s的比例只有12%。近60 a影响上海市区的台风中,过程雨量超过50 mm的比例占到60%;过程雨量超过200 mm的概率为3.6%,上海市区最大的一次台风过程雨量为306.5 mm,其超越概率为1.8%。

2) 在最大风速AEP为12%的情景下,共有52幢建筑物(占研究区域内全部建筑物的15.3%)有台风大风损失,损失程度介于0~600元。其中,大部分(34幢)损失数额在0~100元。只有2幢损失数额达到600元。居住类建筑共47幢,占到有损失总数的9成以上。

在台风过程雨量AEP为1.8%的情景下,区域内地面积水最深处达0.61 m。有143户建筑物受台风暴雨影响,其中,有115幢建筑物(占全部建筑物的33.8%)有经济损失。约近一半建筑物(55幢)损失为200~500元,另有超过1/4(31幢)的建筑物损失在500~1 000元;有5幢的建筑物损失在2 000元以上。所有有台风暴雨损失的建筑物都为居住类建筑。

3) 台风大风灾害的主要致灾因素为脆弱的建筑结构与建筑代年久远老化;以及建筑上附属物的多少及性质。台风暴雨的致灾因素比大风更复杂,包括淹没深度、建筑结构、台阶/门槛高度、下水管道和窨井、地势。

4) 在上述情景下,台风大风与过程雨量造成的损失对当地居民尚属可接受风险,但整个社区的累积损失当属不小,有必要制定应急预案和采取防灾降险措施,以应对未来更严重的极端大

风与暴雨事件。

本文基于本地知识,应用概率(情景)风险分析与GIS方法开展社区一级的灾害风险研究。利用60 a的台风气象数据计算了强度-超越概率关系,然后基于某一概率下的台风最大风速和过程雨量进行杨浦区富禄里地区的台风灾害损失和风险评估,并且绘制出基于情景的暴露和风险分布图。对于脆弱性与损失数据的获取选择问卷调查以及走访相结合的方法。尽管本文的分析与结果都较初步,没有评估多种情景下的风险。但应用参与式GIS方法,基于概率(情景)开展社区一级的风险分析是近年来国际的一个研究热点与趋势,对中国开展这一领域的研究有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 叶 宏.“社区灾害管理”是防灾减灾的基础[J].中国减灾,2010,4月上:26~27.
- [2] 吴新燕.美国社区减灾体系简介及启示[J].城市减灾,2004,4:3~4.
- [3] 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.
- [4] UNISDR. Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters[R]. World Conference on Disaster Reduction,18-22 January 2005, Kobe,Hyogo,Japan.1-25.www.unisdr.org. accessed March 12, 2008.
- [5] 殷 杰,尹占娥,许世远.上海市灾害综合风险定量评估研究[J].地理科学,2009,29(3):450~454.
- [6] 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.
- [7] 陈佩燕,杨玉华,雷小途,等.我国台风灾害成因分析及灾情预估[J].自然灾害学报,2009,18(1):64~73.
- [8] 陈振楼,王 军,刘 敏,等.上海主要自然灾害特点与应对策略[J].华东师范大学学报(自然科学版),2008,(5):116~125.
- [9] 汪松年.上海地区洪涝灾害的特点和防御对策(上)[J].上海建设科技,2007,5:24~25,38.
- [10] Kaplan S,Garrick B J.On the quantitative definition of risk[J]. Risk Analysis,1981,1(1):11-27.
- [11] Mitchell C,Decker C.Applying risk-based decision-making methods/tools to U.S.Navy antiterrorism capabilities[R]. http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/ndia/mitchell_rbdm_terr_hls_conf_may04.pdf, accessed December 29,2008.
- [12] Grossi P,Kunreuther H.Catastrophe modeling a new approach to managing risk[M].Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co.KG,2005:1-245.
- [13] Apel H,Thieken A H,Merz B et al.A probabilistic modelling system for assessing flood Risks[J].Natural Hazards,2006,38(1-2):79-100.
- [14] Hall J W,Sayers P B,Dawson R J.National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales[J].Natural Hazards,2005,36(1-2):147-164.
- [15] Jonkman S N,van Gelder P H A J M,Vrijling J K.An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage [J].Journal of Hazardous Materials,2003,99(1):1-30.
- [16] Return period [DB/CI].http://en.wikipedia.org/wiki/Return_period. accessed December 29, 2009.
- [17] What is flood recurrence interval? [DB/CI]. http://wiki.answers.com/Q/What_is_flood_recurrence_interval. accessed December 29,2009.
- [18] Alcantara-Ayala I.Flowing mountains in Mexico-incorporating local knowledge and initiatives to confront disaster and promote prevention[J].Mt Res Dev,2004,24(1):10-13.
- [19] Mercer J,Kelman I,Suchet-Pearson S,et al.Integrating indigenous and scientific knowledge bases for disaster risk reduction in Papua New Guinea[J].Geogr Ann Ser B-Human Geogr,2009,91B(2):157-183.
- [20] Mercer J,Kelman I,Taranis L,et al.Framework for integrating indigenous and scientific knowledge for disaster risk reduction[J]. Disasters,2010,34(1):214-239.
- [21] Peters G.Integrating local knowledge into GIS based flood risk assessment,Naga city,The Philippines[D/OL].Enschede:Wageningen University,ITC,2008.ITC Dissertation 157,1-352. http://www.itc.nl/library/papers_2008/phd/peters.pdf
- [22] 丁 燕,史培军.台风灾害的模糊风险评估模型[J].自然灾害学报,2002,11(1):34~43.
- [23] 徐家良.台风影响上海时风速风向分布特征[J].气象,2006,31(8):66~70.
- [24] 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(2):127~138.
- [25] 钮学新,董加斌,杜惠良.华东地区台风降水及影响降水因素的气候分析[J].应用气象学,2005,16(3):402~407.
- [26] 国家海洋局.2005年中国海洋灾害公报[R]. http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/zhgb/A010902index_1.htm.
- [27] DeGagné Mark P J,MacMillan D B.Red River Basin stage-damage curves update and preparation of flood damage maps[R].Final report,International Joint Commission,2000.
- [28] 石 勇,许世远,石 纯,等.洪水灾害脆弱性研究进展[J].地理科学进展,2009,(1):41~46.
- [29] 尹占娥,许世远,殷 杰,等.基于小尺度的城市暴雨内涝灾害情景模拟与风险评估[J].地理学报,2010,65(5),553~562.
- [30] Cope A,Gurley K,Pinelli J-P,et al.A probabilistic model of damage to residential structures from hurricane winds[C]//Joint Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability,Albuquerque,New Mexico,July 26-28,2004. http://www.cis.fiu.edu/hurricane/loss/publications/Engineering/Cope_DOImodel_PMC2004.doc.accessed April 6,2008.
- [31] Simiu E,Pinelli J-P,Subramaniam C,et al.Hurricane damage prediction model for residential structures[J].Journal of Structural

Engineering, 2004, 130(11):1685-1691.

险评估与区划[J].地理科学, 2008, 28(5):693~697.

[32] 胡蓓蓓, 姜衍祥, 周 俊, 等. 天津市滨海地区地面沉降灾害风

Probabilistic Community-based Typhoon Disaster Risk Assessment: A Case of Fululi Community, Shanghai

WEN Jia-hong¹, HUANG Hui¹, CHEN Ke², YE Xin-liang^{1,3}, HU Heng-zhi¹, HUA Zhen-yang¹

(1. Department of Geography, Shanghai Normal University, Shanghai, 200234, China; 2. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai, 200062, China; 3. School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai, 201620, China)

Abstract: Intense tropic cyclones, one of the major natural hazards prevailing in Shanghai, cause significant social and economic losses almost every year. In this paper, probabilistic community-based risk assessment is carried out, taking Fululi community of Yangpu District, Shanghai, for an example. The annual exceedance probabilities of the maximum wind speed and accumulated rainfall are calculated based on Shanghai tropic cyclone meteorological data in 1949-2008. Combined with the data interpreted from 4 m resolution aerial photograph acquired in 2006, relief altitude difference data measured by leveling, and damage and loss data by tropic cyclones from *in situ* investigations, questionnaires and interviews in Fululi, the hazards, elements at risk, and risk under specific scenarios are assessed. The result shows: 1) The annual exceedance probability of maximum wind speed 17.2 m/s is 12%. The largest accumulated rainfall during one typhoon process is 306 mm, and its annual exceedance probability is 1.8%. 2) On the scenario of 12% AEP of maximum wind speed, there are 52 (or 15.3%) buildings with losses in Fululi. 34 of the 52 buildings have losses between 0-100 yuan (RMB), 11 buildings have losses between 150-200 yuan, 4 have loss of 300 yuan, 1 has loss of 500 yuan, and 2 have loss of 600 yuan. 47 of these, covering more than 90%, are residence buildings. There are 7 buildings with strong wind losses larger than 250 yuan, of which 5 belong to old masonry-timber structure and other 2 buildings belong to old brick-masonry structure. 3) On the scenario of accumulated rainfall AEP equal to 1.8%, the deepest inundation depth is 0.61 m in Fululi. There are 115 (or 33.8 %) buildings that have losses by rain-store, and all these buildings are for residence. Of the 115 buildings, 11 have losses between 0-200 RMB yuan; 55 have losses between 200-500 yuan; 31, 500-1 000 yuan; 13, 1000-1500 yuan; and 5, around 2000 yuan. Most of the buildings, covering 77.8 %, with losses larger than 500 yuan are old brick-masonry structure and old masonry-timber structure. According to the investigations, the water depth less than 5 cm causes little damage and loss of the resident properties. When the water depth reaches 15 cm, it will lead to some losses, and if the water depth is larger than 30 cm, it will cause relatively larger losses. Though the strong wind and accumulated rainfall induced losses are not as serious as a big disaster to the residents there, i.e., the risk is acceptable, but it is necessary to make emergency planning to cope with more serious extreme events in future.

Key Words: typhoon; probabilistic risk; participator GIS; community; Shanghai