

孙少文, 杨斌, 胡志华, 等. 台风灾害下城市应急策略对城市应急能力的影响[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 204–212.
[Sun Shaowen, Yang Bin, Hu Zhihua, et al. City Emergency Ability Influenced by City Emergency Strategy under the Background of Typhoon Disaster[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(3): 204–212.]

台风灾害下城市应急策略对城市应急能力的影响^{*}

孙少文, 杨斌, 胡志华, 温馨

(上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306)

摘要:以台风灾害为背景, 分析影响城市应急能力的主要因素, 建立了城市应急能力及城市应急弹性的基础模型和拓展模型; 通过对不同强度的台风采取不同的城市应急策略, 研究了城市应急策略对应急能力和应急弹性的影响; 针对连续性台风灾害, 比较了混合应急策略与单一应急策略对城市应急能力恢复的影响。结果表明: 应对不同强度的台风灾害, 城市最优应急策略存在一定差异; 调试应急资源和应急系数可以优化应急策略; 城市应急弹性能够反映城市应急能力; 在连续性灾害中, 混合应急策略优于单一应急策略的采用, 而且混合应急策略在顺序上的调整不会影响应急成本, 但会改变城市应急能力。

关键词: 台风灾害; 城市应急策略; 城市应急能力; 应急资源; 弹性

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2014)02–0204–09

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.02.038

我国是受台风影响损失最严重的国家之一, 例如2013年11月的超强台风“海燕”造成海南、广西、广东3省区313.3万人受灾, 7人死亡, 4人失踪, 18.2万人紧急转移安置的严重后果。因此, 如何降低台风灾难造成的损失, 是政府应对台风灾难要解决的首要问题。

城市应急能力是城市应对和处理突发事件的能力, 体现在城市资源配置与城市机构的执行力上。对于如何衡量应急能力, 国内外学者多采用弹性的方法进行研究。弹性一词最早是由Holling提出的, 用于定义一个生态系统吸收变化的能力, 更多的情况指的是一种缓冲能力^[1]。当前, 弹性已经涉及很多领域, 主要是用于描述某个特定的系统在适应外部负面影响并能够从巨大的冲击中恢复至事前运行水平的能力。如Timothy等认为弹性是在一定区域规模和城市中, 特定的非结构化系统应对极端事件的吸收适应能力^[2]。Turner认为弹性和脆弱性是组成稳定科学的两个对立统一的基本元素^[3]。MCEER在定义弹性概念时认为弹性是社会中组织、单元、或者社区减少灾害损失的

能力^[4]。综合以上学者的观点, 本文以台风灾害为背景可以得出, 城市应急弹性是指在面对突发事件时, 城市应急机构通过对事件的预测、响应和处理, 使城市应急机构恢复到事前水平的能力。

对于组织机构应急能力的研究, 国外学者建立关于弹性的数学模型或者制定弹性指标衡量组织、机构、社区或者政府的应急能力, 建立高弹性的组织机构框架。如Cimellaro提出了灾难弹性的概念, 并且采用定量的方法建立损失函数、恢复函数模型和脆弱性函数来分析组织框架的弹性水平^[5]。Linh提出了几点能够影响企业运作的因素, 建立了企业应急管理的弹性框架^[6]。Tveiten研究了石油企业在应对突发事件时弹性组织的构建, 并提出监控、预测、反应和学习是建立弹性组织所必需的基本原则^[7]。Ainuddin以地震多发区为背景, 采用实地调查和文献阅读的方法获得有原始资料和相关信息, 构建了社区弹性框架^[8]。Henry建立了依赖于时间变化的系统弹性函数, 用定量的方法分析了一般化的弹性指标^[9]。Jonas通过对比印度两个社区应对灾害的弹性, 挖掘出了

^{*} 收稿日期: 2013–10–14 修回日期: 2013–12–25

基金项目: 国家自然科学基金项目(71171129); 上海市科委科研项目(111510501900; 12dz1124802); 上海市教委科研项目(11YZ137); 上海海事大学研究生创新基金资助项目(GK2013027)

作者简介: 孙少文(1989–), 男, 湖北洪湖人, 硕士研究生, 主要从事港航与物流运作优化、应急管理、绿色物流的研究。

E-mail: 867201000@qq.com

通讯作者: 杨斌(1975–), 男, 山东招远人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事行业内物流系统规划与信息管理、知识发现与智能系统。E-mail: binyang@shmtu.edu.cn

影响社区弹性的重要指标, 从而构建了能够适用于气象灾害的社区弹性框架^[10]。C Wright 探讨了如何使用系统的原则和方法为企业建立弹性框架的问题^[11]。Cutter 构建了能够应对自然灾害和全球突发事件的弹性框架, 并利用多维指标测量了该框架的弹性^[12]。

国内学者对组织机构应急能力也做了较为深入的研究。金菊良等提出并系统地阐述了由洪水灾害危险性、洪水灾害易损性和洪水灾害灾情组成的洪水灾害风险结构^[13]。刘希龙等在传统供应网络和多源供应网络设计的基础上, 建立了基于应急供应的弹性供应网络模型^[14]。吴依伟和赵林度将应急物流网络的弹性分为柔性和可靠性, 总结了应急物流网络弹性的规律^[15]。倪慧芸和陈安研究了政府机构在应急管理中的弹性, 并从单机构-单事件、单机构-多事件和多机构-多事件三个角度对机构弹性做了定量的分析^[16]。赵林度构建了基于弹性的城际重大危险源应急网络协同机制, 从风险弹性、信息弹性、资源弹性角度对城际应急网络的协同弹性水平进行了研究^[17]。魏章进总结了统计模拟评估法的基本步骤, 比较了台风灾情评估方法的不同特点, 推动了城市应急框架的合理化^[18]。

相比已有的国内外研究成果, 本文从城市应急策略的角度出发, 采用城市应急弹性的衡量方法, 研究城市应急能力的变化状况, 寻求不同等级灾害下城市最佳应急策略。

1 基本概念及问题描述

城市应急能力、应急弹性、应急策略的关系是进行问题研究的前提。不同的应急策略影响城市应急能力的大小, 城市应急能力需要应急弹性进行定量反映, 通过比较城市应急弹性, 选择最优城市应急策略。三者关系如图 1 所示。

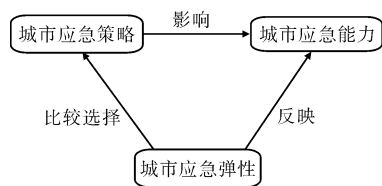


图1 应急相关概念关系图

城市应急能力和城市应急弹性在前文已做详细描述, 城市应急策略则应根据台风灾害的等级分为城市独立救援、城市合作救援和城市联盟救

援。如果城市所受台风灾害较小, 可采取独立救援策略, 若采用合作或者联盟策略反会增加救援成本, 一旦台风灾害等级大至独立救援无法完成城市恢复工作时, 城市应选择合作或者联盟策略。

城市合作与城市联盟不同。从图 2 中可看出城市合作的基础是共同合同, 合同规定了合作城市共担风险的义务, 但目标追求城市个体利益最大化, 因此在救援过程中增加应急成本的同时也会因为心理波动而消极救援。与此不同, 城市联盟从区域共同利益出发, 制定共同目标, 面对灾难时会制定合理的城市联盟策略。

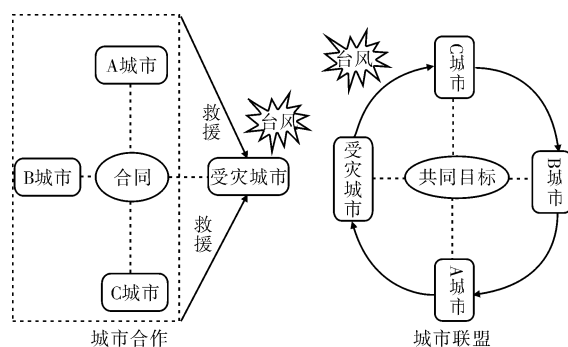


图2 城市合作与联盟的策略对比图

面对台风灾害, 城市需要一套完整的应急框架, 从事前预测、事中处理和事后学习三方面进行应急管理。事前预测主要体现在城市执行力中的预测能力和应急资源中的预测技术。事中处理则依据台风的特征(等级、路径)选择合适的应急策略, 投入相关应急资源进行应急救援。事后学习主要是针对应急过程中出现的问题进行改进, 进而提高城市应急能力。城市应急过程如图 3 所示。

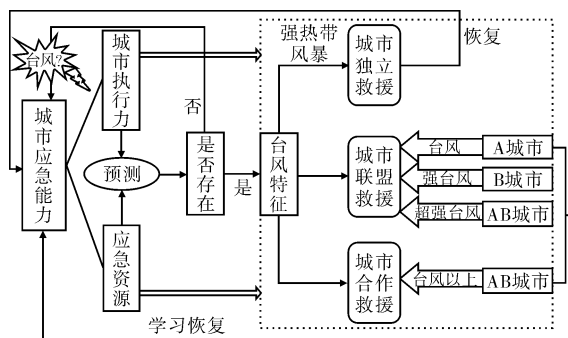


图3 城市应急过程示意图

通过基本概念和城市应急过程的介绍, 本文研究的问题重点在于不同的城市应急策略下城市应急能力的变化差异, 比较选择最优应急策略。城市应急能力变化过程如图 4 所示。

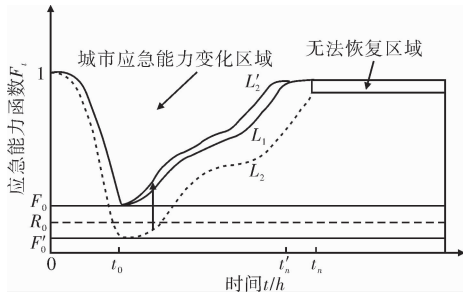


图4 城市应急能力变化过程图

如图4所示,在遭受台风灾害后,城市应急能力是随时间变化的。横轴表示观测时刻,纵轴是城市应急能力。 F_t 表示城市应急能力,灾前应急能力是1, F_0 是在遭遇台风灾害后城市应急能力变化曲线 L_1 的最低点, F'_0 是应急曲线 L_2 的最低点, t 表示时间, t_0 、 t'_0 和 t_n 是城市应急能力的观测时间, L_1 、 L_2 和 L'_2 都表示城市应急能力变化曲线。 R_0 是指城市应急能力的鲁棒性,即城市能够保证受到外来干预后能够恢复到事前水平的最低应急能力。 L_1 的最低点 $F_0 > R_0$,即城市应急能力足以应对该种程度的台风灾害。 L_2 的最低点 $F'_0 < R_0$,即依靠城市独立救援无法使得城市应急能力恢复到事前水平。如果采取合作救援或者联盟救援的策略那么曲线 L_2 就可能平移至 L'_2 ,这样不仅可以恢复城市应急能力而且还能使得恢复时间由 t_n 减少至 t'_n 。通过对问题特征的描述,城市应急策略对城市应急能力的影响存在差异,当台风等级较大时,城市合作和城市联盟策略会增强城市应急能力,从而保证城市应急能力能够恢复到事前水平。

2 城市应急弹性模型

2.1 城市应急弹性基础模型

城市应急弹性模型,可反映应急能力的变化过程。由图3可知城市应急能力取决于城市执行力和应急资源,其中,城市执行力主要体现在技术熟练程度,应急资源的合理性由资源匹配度进行衡量。那么要对城市应急能力进行定量分析,必须建立关于城市执行力与应急资源的数学表达式。

$$f_t = \alpha \sum_{i=1}^m w_i \frac{R_{i,t}}{R_i}, (0 < \alpha < 1, 0 < w_i < 1), \quad (1)$$

式中: f_t 表示在 t 时刻的城市执行力; w_i 指的是 i 资源在城市应急中的权重; α 指的是城市的技术熟练程度; $R_{i,t}$ 表示组织 t 时刻能够调用 i 资源的数量; R_i 指的是 i 资源的总量;当城市技术熟练程度趋于0或事

中城市能够调用的应急资源数越少时,城市执行力越弱。

针对灾难的特征,城市应急资源必须具有特殊性。因此可提出资源匹配度的概念,即组织已有应急资源与灾害所需要的应急资源在数量和种类上的相同程度。那么城市应急资源的匹配度可以利用公式(2)。

$$RE_j = \sum_{i=1}^m w_i \frac{R_i}{D_{i,j,t}}, (0 < w_i < 1), \quad (2)$$

式中: RE_j 表示对于 j 事件应急资源的匹配度; $D_{i,j,t}$ 表示 j 事件在 t 时刻对 i 资源的需求量。若 $D_{i,j,t} \leq R_i$ 成立,则资源匹配度 $RE_j \geq 1$,即城市的相关应急资源非常充沛。鉴于城市应急资源匹配度和执行力共同影响组织的应急能力,可以得到城市应急能力的数学表达式,即公式(3)和(5)。

$$F_t = f_t \cdot RE_j = \alpha \sum_{i=1}^n w_i^2 \frac{R_{i,t}}{D_{i,j,t}}, \quad (3)$$

$$w_1 \frac{R_{1,t}}{R_1} \times w_2 \frac{R_2}{D_{2,j,t}} = 0, \quad (4)$$

$$F_t = f_t \cdot RE_j = \alpha \sum_{i=1}^n w_i \frac{R_{i,t}}{D_{i,j,t}}, \quad (5)$$

式中: F_t 指的是城市在 t 时刻的应急能力; w_i 作为应急资源的权重是常数;因此, w_i^2 变为 w_i 不会影响结果的比较。在应急过程中,当已有资源与组织需要的应急资源不一致时,此时该资源的应急效用为0,即公式(4)恒成立,所以 $f_t \cdot RE_j$ 只能对应相乘,得到城市应急能力公式(5)。

城市应急能力在应对台风时是随时间变化的。为了展现应急能力的动态过程,根据图4得到城市应急弹性模型,如公式(6)。

$$RI = \frac{\int_0^{t_0} F dt}{t_0} + \frac{\int_{t_0}^{t_n} F dt}{t_n - t_0}, \quad (6)$$

将组织应急能力 F_t 带入上式可得:

$$RI = \alpha \sum_{i=1}^m w_i \left(\frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} \frac{R_{i,t}}{D_{i,j,t}} dt + \frac{1}{t_n - t_0} \int_{t_0}^{t_n} \frac{R_{i,t}}{D_{i,j,t}} dt \right). \quad (7)$$

式中: RI 表示的是应急能力的弹性。事实上,利用式(7)求解城市应急能力的弹性较难,因为 $R_{i,t}$ 和 $D_{i,j,t}$ 随时间变化趋势并不呈现规律性,并且在计算弹性时不可能选取所有的观测点,故可将连续动态弹性模型转换为离散动态弹性模型。即把式(7)中的积分分割成有限数观测点,如图5,将 $0-t_n$ 时间段划分为 n 等分,其中 $0-t_0$ 有 n' 等分, t_0-t_n 则有 $n-n'$ 等分, t_n 表示第 n 次观测点的时间,则弹性公式(7)

可以进一步简化为式(8), 同时式(5)中的应急能力函数 F_t 应该变为 F_t^n , 即表示第 n 次观测时刻下的城市应急能力。

$$RI = \alpha \sum_{i=1}^m w_i \left(\sum_{j=1}^{n'} \frac{R_{i,j,t}}{n' D_{i,j,t}} + \sum_{j=n'}^n \frac{R_{i,j,t}}{(n - n') D_{i,j,t}} \right). \quad (8)$$

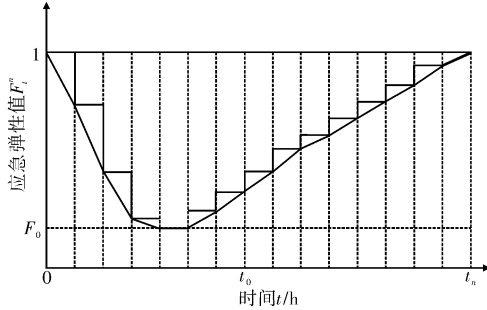


图5 城市应急能力的变化离散图

结合式(8)和图5可知, 通过对图5中有限分割点处的城市应急能力的观测, 可以得出城市应急能力, 然后将观测点的 F_t^n 值代入式(8)算出城市应急弹性值。

2.2 应急能力的弹性拓展模型

由于台风灾害影响范围的广泛性, 城市之间为了增强自身的应急能力以应对较强程度的灾害时, 往往采取合作或者联盟的应急策略, 城市应急弹性模型也应该由基础模型转变为合作与联盟策略下的拓展模型。从基础模型中可知城市执行力与应急资源决定了城市应急能力的水平, 在拓展模型中城市间的合作与联盟会增加城市执行力与应急资源从而提升城市应急能力, 但也会增加城市应急成本, 因此在拓展模型中必须综合考虑应急能力与应急成本间的背反效应。

城市执行力很大程度上取决于 α , 当进行城市合作救援或者联盟救援时, 技术熟练程度取 α 加权平均值, 应急资源是城市参与救援资源总和, 从而可得合作或救援后的城市应急弹性。应急成本可以分为心理成本与行动成本。心理成本表现为周边城市的消极救援而降低城市应急能力, 行动成本由周边城市应急资源供给量决定。

因此可将基础模型式(8)拓展为二维函数形式:

$$\phi = (RI', C), \quad (9)$$

$$\bar{\alpha} = \sum_{k=1}^s \omega_k a_k, \quad (10)$$

$$R'_{i,t} = R_{i,t}^0 + \sum_{k=1}^s \lambda_k R_{i,t}^k, \quad (11)$$

$$F_t = \bar{\alpha} \sum_{i=1}^n w_i \frac{R'_{i,t}}{D_{i,j,t}}, \quad (12)$$

$$RI' = \bar{\alpha} \sum_{i=1}^m w_i \left(\sum_{j=1}^{n'} \frac{R'_{i,j,t}}{n' D_{i,j,t}} + \sum_{j=n'}^n \frac{R'_{i,j,t}}{(n - n') D_{i,j,t}} \right), \quad (13)$$

$$C = \sum_{i=1}^m \lambda_k R_i. \quad (14)$$

式中: ϕ 是拓展模型 RI' 和行动成本 C 的二维函数; $\bar{\alpha}$ 指的是加权平均技术熟练程度; ω_k 是 k 城市的技术权重; $R'_{i,t}$ 表示受救援心理影响后 t 时刻 i 资源的总量; $R_{i,t}^0$ 是受灾城市的应急资源 t 时刻 i 资源的总量, λ_k 是指 k 城市的应急贡献系数; 式(12)表示拓展后的城市应急能力; RI' 表示联合救援后的应急弹性。通过参数设定对 RI' 和 C 求解, 可得出二维函数值 ϕ , 最后比较 ϕ 选择合适的应急策略。

3 案例研究

3.1 案例设计

案例以浙江省台州市作为受灾城市进行研究。图5是2012年8月的台风“海葵”登陆图, 台州市是浙江省受灾最严重的城市之一, 其周边城市宁波市、金华市和温州市也受到台风较大损失。根据研究问题的需要, 城市应急能力的相关系数、台风等级以及城市资源状况分别在表1和表2中给出。

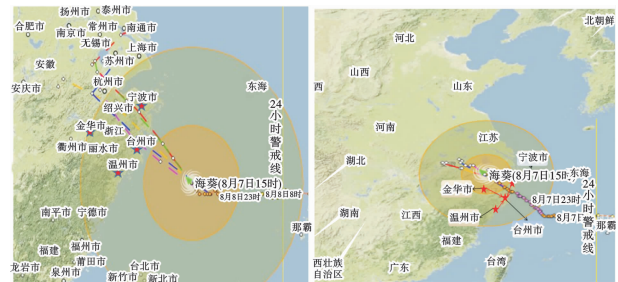


图6 案例研究实例图

表1和表2中, 假设应急资源为 R_1 到 R_4 , $R_0 = 0.4$ 是台州市城市应急能力的鲁棒性, 若 $\min\{F_t^n\} < R_0$, 则表示城市自身无法完成救援工作, 则会采取合作或者救援的策略。案例设计了四种不同程度的台风灾害, 分别求出在不同策略下台州市的应急能力、应急弹性和应急成本, 重点分析不同的应急策略对台州市应急能力的影响。

3.2 案例求解分析

在案例中应首先利用基本模型求解。基本模型是适应城市独立救援下采用的, 如果城市最低应急能力 $\min\{F_t^n\} < R_0$, 城市应该选择合作或联盟救

表 1 城市应急资源供需信息

$D_{i,j,t}$	R_1					R_2					R_3					R_4				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
强热带风暴	10	12	15	11	13	12	14	15	13	10	9	10	10	9	8	8	10	12	9	6
台风	12	14	17	13	15	14	16	17	15	12	11	12	12	11	10	10	12	14	11	8
强台风	14	16	19	15	17	16	18	19	17	14	13	14	14	13	12	12	14	16	13	10
超强台风	16	17	21	17	19	18	20	21	19	16	15	16	16	15	14	14	16	18	15	12
$R_{i,t}$	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
台州市	12	9	7	10	11	11	9	7	9	11	12	7	5	7	9	10	7	6	10	12
温州市			12					10					14					11		
宁波市			10					12					13					9		
金华市			8					6					10					7		
w_i			0.4					0.3					0.2					0.1		

表 2 城市应急救的援相关系数及成本

城市	α_k	λ_k		ω_k	R_0	C	
		合作	联盟			合作	联盟
台州市	0.8	1	1	0.5 ~ 0.9	0.4		
温州市	0.85	0.2	0.4	0.2		9.4	18.8
宁波市	0.8	0.2	0.4	0.2		8.8	17.6
金华市	0.7	0.2	0.2	0.1		6.2	6.2

援,采用拓展模型求解。

3.2.1 不同等级台风下的城市应急能力及策略分析

(1) 强热带风暴下的城市应急能力及策略分析

根据表1和表2关于强热带风暴的数据以及台州市应急能力的基本信息,利用式(5)算出 t_1 到 t_5 观测点的城市应急能力。如表3所示,当台风强度为强热带风暴时,台州市在救援过程中 $\min\{F_t^n\} = F_t^3 > R_0$,

表 3 强热带风暴下台州市应急能力及策略

城市	F_t^1	F_t^2	F_t^3	F_t^4	F_t^5	R_0	RI	$\min\{F_t^n\}$	最优策略
台州市	0.917	0.562	0.401	0.67	0.87	0.4	5.99	0.401	独立救援

表 4 台风下台州市应急能力及策略

策略	F_t^1	F_t^2	F_t^3	F_t^4	F_t^5	R_0	RI	C	最优策略
独立救援	0.763	0.480	0.331	0.564	0.718	0.4	3.912	0	否
合作救援	1.170	0.877	0.653	0.948	1.131	0.4	8.113	24.4	否
联盟救援	温州市	1.101	0.774	0.596	0.882	0.4	7.592	18.8	否
	宁波市	1.056	0.737	0.564	0.841	0.4	7.198	17.6	否
	金华市	0.839	0.564	0.408	0.654	0.4	5.500	6.2	是

表 5 强台风下台州市应急能力及策略

策略	F_t^1	F_t^2	F_t^3	F_t^4	F_t^5	R_0	$\phi = (RI', C)$	最优策略
合作救援	1.001	0.730	0.576	0.819	0.996	0.4	(6.871, 24.4)	否
联盟救援	温州市	0.933	0.666	0.517	0.734	0.4	(6.326, 18.8)	否
	宁波市	0.905	0.644	0.498	0.727	0.4	(6.203, 17.6)	是
	金华市	0.732	0.492	0.365	0.565	0.4	(4.505, 6.2)	否

即台州市可以应对该等级台风,因此采取独立救援策略。

(2) 台风下的城市应急能力及策略分析

$\min\{F_t^n\}$ 与 R_0 的大小决定台州市是否采用独立救援策略。利用基础模型算出 $\min\{F_t^n\} = F_t^3 = 0.331 < R_0$,即台州市依靠自身应急能力无法完成城市恢复工作,因此采取合作或联盟策略。

如表4和图7,台风下台州市最优应急策略是与金华市联盟。城市合作策略、与温州市联盟和与宁波市联盟的策略使台州市应急能力一直维持在较高水平,且城市应急弹性分别是8.113、7.592和7.198,大于与金华市联盟的应急弹性,但其应急成本超过了金华市。可见,应急弹性越大城市应急能力越强,但成本更高,因此选择合适的应急策略必须综合考虑应急弹性和应急成本。

(3) 强台风下的城市应急能力及策略分析

在台风影响下台州市独立救援已经无法恢复城市应急能力,所以针对强台风,应采用合作救援或者联盟救援策略。根据表1和表2的数据和拓展模型可得表5。

表 6

超强台风下台州市应急能力及策略

策略	F_t^1	F_t^2	F_t^3	F_t^4	F_t^5	R_0	$\phi = (R', C)$	最优策略
合作救援	0.876	0.663	0.516	0.721	0.838	0.4	(6.123, 24.4)	否
联盟 温州市	0.816	0.606	0.463	0.662	0.776	0.4	(5.467, 18.8)	否
救援 宁波市	0.781	0.577	0.441	0.632	0.746	0.4	(5.291, 17.6)	是

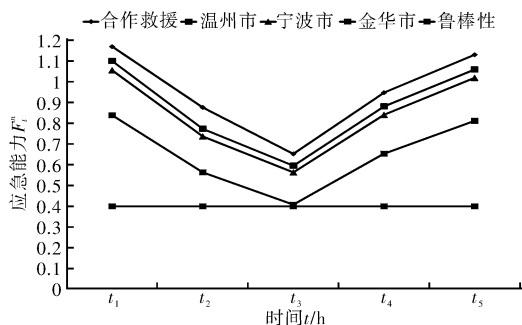


图 7 台风下救援策略对应急能力的影响

由表 5 和图 8 可知,在强台风下最优的应急策略是与宁波市联盟。与金华市联盟的策略使台州市应急能力最低值 $\min\{F_t^n\} = F_t^3 < R_0$,所以无法完成城市应急工作。同样,合作策略、与温州市联盟和与宁波市联盟都因应急成本较高而被放弃。与宁波市联盟和与温州市联盟的两条应急曲线基本重合,应急弹性和应急成本也基本相同,所以采取哪种策略很大程度上取决于台州市的政府偏好。

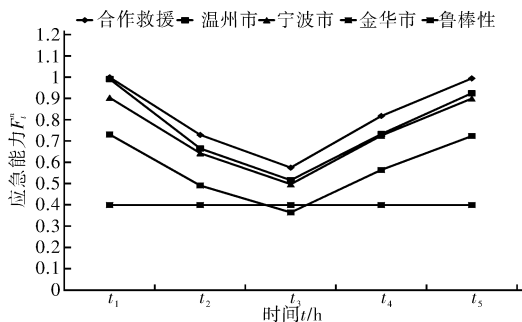


图 8 强台风下救援策略对应急能力的影响

(4) 超强台风下的城市应急能力及策略分析

根据强台风的应急策略分析,超强台风下台州市应该选择合作策略或者与温州市、宁波市联盟策略。

由表 6 和图 9 可知,与宁波市联盟是最优策略。事实上,这三种应急策略都可以抵御超强台风,因此成本成为选择应急策略的关键。

结合图 7 至图 9,对不同强度台风的策略分析可以得出:城市应急能力的强弱可以用应急弹性来衡量,并呈正相关;随着台风等级的增大,适用的应急联盟策略逐渐减少;存在多个可行的应急策略时,成本决定最后应急策略的选择。

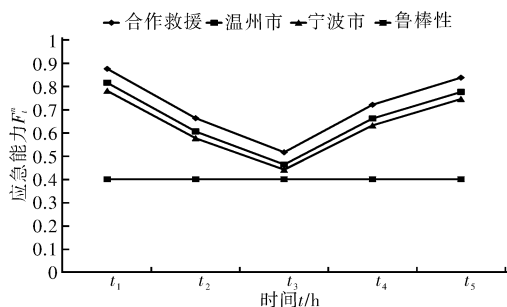


图 9 超强台风下救援策略对应急能力的影响

3.2.2 敏感性分析

(1) 应急贡献率变化分析

从图 8 和图 9 可知,强台风和超强台风下的最优策略(与宁波市联盟)存在着资源浪费的情况。例如,在强台风下与宁波市联盟使台州市的 $\min\{F_t^n\}$ 超出 R_0 很多,表明宁波市可以在援助资源总量不变的情况下降低贡献率使 F_t^3 更加接近 R_0 。

F_t^3 是城市应急能力的最低点,因此,比较 F_t^3 和 R_0 的大小即可。保留表 1 中宁波市在强台风下应急资源的供需数据和表 2 中的技术权重,改变宁波市的应急贡献率,计算结果如表 7。

表 7 强台风下宁波市应急贡献率变化及影响

应急贡献率	0.4	0.3	0.25	0.2	0.1	R_0
F_t^3	0.498	0.447	0.421	0.395	0.344	0.4
C	17.6	13.2	11	8.8	4.4	
最优贡献率范围	(0.2, 0.25)					

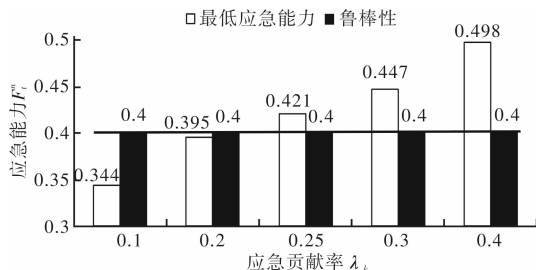


图 10 强台风下贡献率变化对最低应急能力的影响

表 7 和图 10 表明,强台风下如果与宁波市联盟救援,则最优应急贡献率在(0.2, 0.25)之间且接近 0.2。图 10 中最低应急能力高于 0.4 的部分表明该贡献率会使应急资源浪费。当宁波市的贡献率为 0.2 时,与温州市联盟就会取代与宁波市联盟成为最优

表 8 强台风下宁波市资源变化及影响

宁波市	宁波市 1				宁波市 2				宁波市 3				R_0
	R_1	R_2	R_3	R_4	R'_1	R'_2	R'_3	R'_4	R''_1	R''_2	R''_3	R''_4	
	10	12	13	9	6	8	9	5	4	6	7	3	
F_t^1		0.905				0.803				0.775			0.4
F_t^2		0.644				0.552				0.522			
F_t^3		0.498				0.422				0.388			
F_t^4		0.727				0.629				0.597			
F_t^5		0.901				0.797				0.764			
C		17.6				11.2				8			

应急策略。同样,在超强台风下宁波市的贡献率也可以调试到最优状态,并且随着贡献率的变化到一定程度时,最优策略也会随着改变。

(2) 应急资源变化分析

强台风或超强台风下台州市与宁波市和与温州市联盟对城市应急能力的影响差别很小,并且出现了资源浪费的现象。在不改变宁波市应急贡献率的情况下,变化宁波市的应急资源量,观测台州市应急能力的变化。同样,以强台风为例,在改变宁波市应急资源的情况下求解。

结合表 8 和图 11,强台风影响下随着宁波市应

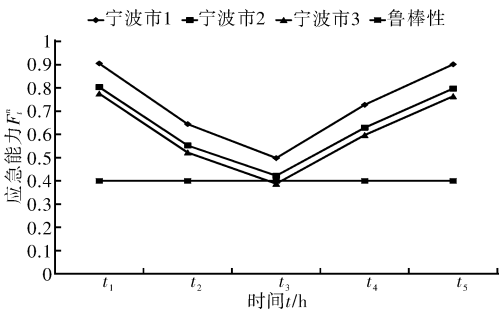


图 11 强台风下资源调整对应急能力的影响

急资源量的减少,台州市的最低城市应急能力逐渐靠近鲁棒性值。当应急资源调整为 R'_i 时,所消耗的应急成本和应急资源较 R_i 合理,当应急资源调整到 R''_i 时, $\min\{F_t^n\} = F_t^3 < R_0$,与宁波市联盟不再是最优策略。

总之,应急贡献率的变化与资源总量的变化,对城市应急能力有着相同的影响。例如,应急贡献率调整到 0.25 时 $C = 11$ 、 $\min\{F_t^n\} = 0.421$,资源调整到 R'_i 时 $C = 11.2$ 、 $\min\{F_t^n\} = 0.422$ 。

3.2.3 连续性台风下的城市应急能力及策略分析

(1) 单一策略对城市应急能力的影响

台风灾害发生周期较短且发生时间集中在夏季,因此,考虑连续台风下的灾害对台州市的城市恢复是很有必要的。在情景选取方面,将研究首次灾害是台风,再次遭遇不同等级台风时,城市应急能力的变化。

新观测点的应急能力值应根据已知模型算出后与再次发生灾害时的城市应急能力相乘算出。假设再次发生灾害时城市应急能力为 f_t^5 ,则发生新灾害后的城市应急能力如表 9 到表 11。

表 9 新灾害为台风时的城市应急能力及策略

应急能力	F_t^6	F_t^7	F_t^8	F_t^9	F_t^{10}	R_0	$\phi = (RI', C)$
合作救援	1.323	0.991	0.738	1.072	1.279	0.4	(16.226, 48.8)
温州市	1.167	0.820	0.631	0.934	1.123	0.4	(15.639, 37.6)
宁波市	1.045	0.751	0.574	0.856	1.038	0.4	(14.532, 35.2)
金华市	0.681	0.457	0.331	0.531	0.659	0.4	(9.966, 12.4)

表 10 新灾害为强台风时的城市应急能力及策略

应急能力	F_t^6	F_t^7	F_t^8	F_t^9	F_t^{10}	R_0	$\phi = (RI', C)$
合作救援	1.132	0.825	0.651	0.926	1.126	0.4	(15.884, 48.8)
温州市	0.998	0.705	0.548	0.778	0.981	0.4	(14.297, 37.6)
宁波市	0.922	0.656	0.507	0.740	0.918	0.4	(13.518, 35.2)

表 11 新灾害为超强台风时的城市应急能力及策略

应急能力	F_t^6	F_t^7	F_t^8	F_t^9	F_t^{10}	R_0	$\phi = (RI', C)$
合作救援	0.990	0.749	0.583	0.815	0.947	0.4	(15.038, 48.8)
温州市	0.864	0.642	0.490	0.701	0.822	0.4	(13.387, 37.6)
宁波市	0.827	0.611	0.476	0.669	0.790	0.4	(12.589, 35.2)

表 12

新灾害为台风下应急策略的调整比较

阶段	第一阶段										第二阶段
应急策略	金华市										宁波市
应急能力	F_t^1	F_t^2	F_t^3	F_t^4	F_t^5	F_t^6	F_t^7	F_t^8	F_t^9	F_t^{10}	R_0
	0.839	0.564	0.408	0.654	0.812	0.824	0.598	0.457	0.682	0.827	0.4
$\phi = (RI', C)$											(11.3, 23.8)
应急策略	宁波市										金华市
应急能力	F_t^1	F_t^2	F_t^3	F_t^4	F_t^5	F_t^6	F_t^7	F_t^8	F_t^9	F_t^{10}	R_0
	1.056	0.737	0.564	0.841	1.019	0.854	0.574	0.415	0.666	0.827	0.4
$\phi = (RI', C)$											(12.8, 23.8)

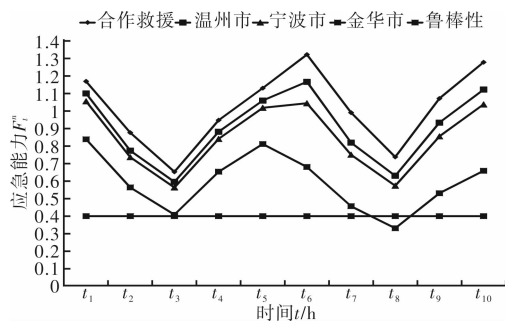


图 12 新灾害为台风的单一策略下的城市应急能力变化

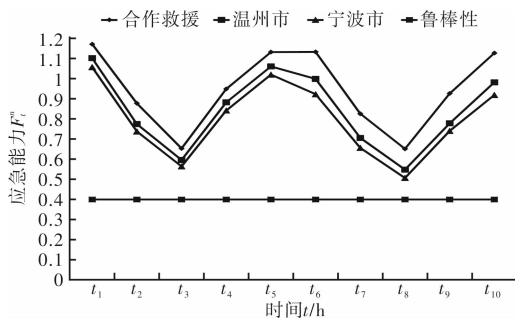


图 13 新灾害为强台风的单一策略下的城市应急能力变化

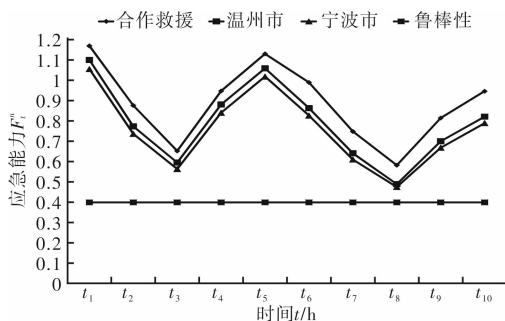


图 14 新灾害为超强台风的单一策略下的城市应急能力变化

由表 9 和图 12 可得,新灾害为台风时,如果一直采用与金华市联盟的单一策略,将无法完成城市应急恢复工作。综合图 12 至图 14,第二阶段整体应急能力的大小取决于第一阶段新灾害出现的时刻应急能力恢复程度和第二阶段的台风强度。例如,新灾害为超强台风时,即便三种应急策略下第 5 个观测点的应急能力都大于 1,但由于超强台风大于

前一阶段台风的强度使得台州市在第二阶段的最低应急能力小于第一阶段。

事实上,单一的城市应急策略存在很大的提升空间。从图 13 和图 14 可以看出,最优策略的 $\min\{F_t^n\}$ 超过 R_0 很多,为此,可以对应急策略进行适当的调整,以优化应急策略降低应急成本。

(2) 混合策略对城市应急能力的影响

对于两阶段都是台风的情形,第一阶段与金华市联盟策略在第二阶段如果沿用该策略将无法完成城市应急能力恢复工作,如果第一、二阶段都采用与宁波市联盟,则会浪费大量的应急资源。为此,适当的调整策略是很有必要的。

由表 12 可以得知,在面对连续性台风灾害时,比较金华市 - 宁波市和宁波市 - 金华市应急策略可知宁波市 - 金华市策略为最优策略,因为在应急成本都为 23.8 时,宁波市 - 金华市策略的 $RI' = 12.8$ 大于金华市 - 宁波市策略的 $RI' = 11.3$ 。可见,单灾难情况下与金华市联盟是最优策略,连续性台风灾害的第一阶段选择选金华市并不科学,所以应急管理由政府需要统筹全局。

4 结论

通过对台风背景下城市应急能力和应急策略的研究,建立了城市应急能力及和应急弹性的基础模型和拓展模型。从 3 个角度分析了应急策略对台州市应急能力的影响:1,研究了不同台风强度下,台州市应急能力的变化及应急策略的选择;2,通过敏感性分析探讨了应急贡献率与应急资源对城市应急能力的影响;3,研究了连续性台风下单一策略和混合策略对城市应急能力的影响。得出了一些具有一定管理意义的结论:城市应急弹性可以衡量城市应急能力;针对不同强度的台风灾害,台州市需要选择合适的联盟策略进行应急救援,并可以通过调试城市应急贡献率和应急资源优化应急策略; $\min\{F_t\}$ 和 R_0 的吻合度直接决定最优应急策略的选择;在连续台风灾害下,两个阶段采用混合应急策略优于单一应急策略;且应急策略的适当调整可

以优化应急管理。

台州市政府在面对台风灾难时,应该做到以下4点:1,因事制宜,根据不同强度的台风选择合适的联盟或者合作伙伴;2,因时制宜,随着时间而变化应急资源的需求量也不断发生变化,应根据需求量来匹配资源供给量,提高资源利用率;3,优选联盟,合作关系的合同规定各自的应急责任,缺乏灵活性,容易造成应急资源的浪费;4,高瞻远瞩,在应对灾害时切勿目光短浅,应对单个台风的最优策略,未必是连续性台风灾害下最优策略安排的一部分。

但本文在制定不同策略贡献率以及技术熟练程度时,缺乏一定的客观性。进一步的研究应该寻求一种合理的方法,确定不同城市的相关应急系数,使得城市应急能力及弹性基础模型和拓展模型不断完善,更加符合实际的城市应急工作。

参考文献:

- [1] Holling C. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973(4): 1-23.
- [2] Timothy McDaniels, Stephanie Chang, Darren Cole. Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation [J]. Global Environmental Change, 2008, 34(2): 310-318.
- [3] B L Turner II. Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science? [J]. Global Environmental Change, 2010, 44(1): 570-576.
- [4] MCEER. Engineering Resilience Solutions from Earthquake Engineering to Extreme Events[J]. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, 2007, 22(1): 232-241.
- [5] Gian Paolo Cimellaro, AndreiM Reinhorn, MichelBruneau. Framework for analytical quantification of disaster resilience [J]. Engineering Structures, 2010, 47(1): 3639-3649.
- [6] Linh T T Dinh, Hans Pasman, Xiaodan Gao. Resilience engineering of industrial processes: Principles and contributing factors [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2012, 35(4): 233-241.
- [7] Camilla Knudsen Tveiten, Eirik Albrechtsen, Aud Marit Wahl. Building resilience into emergency management [J]. Safety Science, 2012, 156(3): 1960-1966.
- [8] Syed Ainuddin, Jayant Kumar Routray. Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2012, 202(3): 615-627.
- [9] Devanandham Henry, Jose Emmanuel Ramirez-Marquez. Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2012, 44(5): 114-122.
- [10] Jonas Joerin, Rajib Shaw, Yukiko Takeuchi, et al. Assessing community resilience to climate-related disasters in Chennai India [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2012, 46(6): 44-54.
- [11] C Wrigh, V Kiparoglou, M Williams, et al. A Framework for Resilience Thinking [J]. Procedia Computer Science, 2012, 23(3): 44-52.
- [12] Susan L Cutter, Lindsey Barnes, Melissa Berry, et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters [J]. Global Environmental Change, 2008, 60(4): 598-606.
- [13] 金菊良, 魏一鸣, 付强. 洪水灾害风险管理的理论框架探讨 [J]. 水利水电技术, 2002, 33(9): 40-43.
- [14] 刘希龙, 季建华. 基于应急供应的弹性供应网络设计研究 [J]. 控制与决策, 2009, 22(11): 1223-1227.
- [15] 吴依伟, 赵林度. 应急物流网络弹性初探 [J]. 价值工程, 2008, 4(1): 1-3.
- [16] 倪慧蓉, 陈安. 应急管理中的机构弹性评估模型研究 [J]. 科技促进发展, 2010, 16(1): 36-41.
- [17] 赵林度, 程婷. 城际重大危险源应急网络协同弹性研究 [J]. 软科学, 2008, 3(22): 68-72.
- [18] 魏章进, 隋广军, 唐丹玲. 台风灾情评估及方法综述 [J]. 灾害学, 2012, 27(4): 107-113.

City Emergency Ability Influenced by City Emergency Strategy under the Background of Typhoon Disaster

Sun Shaowen, Yang Bin, Hu Zhihua and Wen Xin

(Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Under the background of typhoon disaster, the principle factors which affect the city emergency ability are analyzed and a basic model and a development model of city emergency ability and resilience are established. Through adopting different emergency strategy to different intensity of typhoon disasters, research on the influence of emergency strategy to ability and resilience is done. In terms of continuous typhoon disaster, effects of single strategy and mixed strategy on the recovery of city emergency ability are compared. The results suggest that, coping with typhoon disaster of different strength, the city optimal emergency strategy have some differences. Emergency strategy by debugging the emergency resources and coefficients can be optimized. The city emergency resilience can reflect ability. In continuous disasters, adopting mixed strategy is better than the single one; what's more, exchanging sequence of two different strategies doesn't affect emergency costs, but has some effect on emergency ability.

Key words: typhoon disaster; emergency strategy; emergency ability; emergency resources; resilience