

Reflection on Urban Resilience Based on Multi-prospecting Flood Risk Analysis

—— Take Xiamen as an example

Tianhao Wu, Wei Huang, GuoFang Zhai*

School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210000, China

基于多情景洪涝风险分析的城市韧性思考 ——以厦门市为例

巫天豪, 黄唯, 翟国方*

南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210000, 中国

Abstract

Improvement of engineering facilities once cannot protect a city against natural disasters forever. The concept of resilience provides a new idea to increase urban safety. Taking Xiamen as an example, this study sets up three scenarios, which are common conditions, general disasters, and extreme disasters according to different rainfall levels, evaluate the flood risk with a comprehensive indicator system construction method, and explores the deficiencies in urban safety construction through horizontal comparisons. Research findings show that Xiamen is able to cope with conventional flooding disasters in a rational way, but it is still at high risks in the face of extreme weather situations. Conventional idea of engineering disaster prevention fails to improve and sustain the city's ability to respond to disasters, which requires a transformation to conceptualize disaster prevention in the way of urban resilience. Finally, it summarizes the enlightenment of the

concept of resilience on urban storm water management.

Keywords: disaster prevention engineering; resilience; flood disaster; multiple scenarios risk assessment; Xiamen

摘要

通过工程设施抵御自然灾害并不意味着一劳永逸,而韧性理念为构建安全城市提供了新的规划视角。本文以厦门为例,根据不同降雨等级设置了普通状态、一般灾害、极端灾害三种情景模式,通过构建综合指标体系定量评估城市洪涝风险,并根据横向比较分析来探究城市安全建设存在的不足。研究表明,厦门市能够较好应对常规的洪涝灾害,但在面对极端天气时,依然具有较高的风险,传统的工程性防灾并不能进一步提高城市的应灾能力,需要转变思维提高城市韧性。文章最后总结了韧性理念对城市雨洪管理方式的几点启示。

关键词: 防灾工程; 韧性; 洪涝灾害; 多情景风险评估; 厦门

1. 引言

一直以来,洪涝灾害都对城市安全发

*通讯作者: guofang_zhai@nju.edu.cn

展造成了巨大威胁,由强降雨引发的城市洪涝灾害占全球灾害的比重最高,已达到30%以上,造成了巨大的社会经济损失^[1]。伴随着人类文明的进步,越来越多的防洪排涝工程设施被兴建,然而过度的依赖防灾工程的建设将无法应对气候变化的不确定性因素^[2],伴随着城市建设强度的不断提高,城市应对预期外暴雨洪水的能力越加匮乏^[3]。比如著名的卡特里娜飓风带来的风暴潮引起防洪堤决堤,就导致了毁灭性的洪水灾难。极端气候的频繁发生以及城市化带来的生态调节能力下降将城市置于更加危险的环境之中,越来越多经验告诫我们:简单的修建堤坝管网抵御洪涝灾害,不仅没有充分考虑人与自然交互时所产生的各种不确定因素,也不能在未来积极回应因气候变化而日益增多的极端灾害,难以成为解决洪涝安全问题的长效办法^[4]。从消极隔离灾害到积极应对灾害,一种基于韧性理念的城市洪涝灾害管理体系得到了越来越多学者的认可,并被认为是提高城市防洪防涝能力的重要途径。

2. 文献综述

韧性的概念起源于力学,最早被认为运用在生态学系统中。随后,这一概念的内涵的不断发展演变,经历了工程韧性到生态韧性再到社会生态韧性的发展历程^[5]。工程韧性的思维中,最佳状态被视为唯一正常的情况,是一种静态的系统观;而在生态韧性概念中,认为本质上系统是动态的,所有在有效机制范围内的波动都是正常的^[6]。社会生态韧性不仅重视同样的问题,还进一步强调要增加社会系统的再生、适用和应对能力,强调这些才是人类社会面对灾害冲击需要关注的核心和灾害研究的重点^[4]。回顾韧性理论的发展可以发现韧性的概念经历了从机械稳定静态到生态系统动态的发展过程,现在主张将人类社会与自然系统放在一个整体进行考虑,并强调不断的适应与学习能力,可以说是一种天人合一的可持续发展观念。

出于传统的工程性防灾的种种弊端的反思,近年来越来越多的学者开始从韧性以及具备韧性内涵的理念去思考城市如何

转变传统固化的静态防治观念,让城市在面对洪涝灾害时更具韧性。周立敏、杨敏行^{[7][8]}等人分别从社会生态韧性以及韧性城市理论角度出发,肯定了韧性理念在灾害应对中的重要性,认为传统的防灾范式需要转型;付豫蜀从传统生态智慧的研究角度出发,反对“防御型”为主的雨洪管理系统,认为依赖工程硬排水、人与自然割裂的思想、不合理的土地开发建设是造成城市雨洪的重要原因^[9]。周艺南从雨洪韧性城市设计的理论构建出发,结合设计案例,从土地利用优化、城市结构组织、多用空间塑造和城市系统整合等角度分析设计实践中提升城市雨洪韧性的方法^[10]。廖桂贤提出了“城市韧性承洪”理论以及“可浸区百分比”这一指标来评估城市承洪韧性,并主张不能依赖防洪工程设施,而应培养城市对洪水的适应性来增加城市的承洪韧性,转变主流观念下的城市洪水灾害管理体系^[4]。

总的来看,韧性已经成为学界进行城市灾害研究的重要理念。在城市洪涝灾害方面,一味的依赖防灾工程不仅不会提高城市韧性反而会将城市安全置于非此即彼的状态,这一观念也得到了共识,但目前关于这一点的讨论更多的是基于具体的灾害案例以及定性分析,进行实证研究的还相对较少。因此本文希望以厦门市为对象进行洪涝风险分析,通过多灾害情景下的横向比较,研究不同灾害等级下城市风险程度,以此来侧面反映出过去城市防灾建设存在的不足,望对城市安全与韧性研究作出一定补充。

3. 多情景下的厦门市洪涝风险评估

3.1 研究对象与方法

厦门属于亚热带海洋性季风气候,内部九大溪流水系纵横,年降水量具有时空分布不均的特点,且受台风影响年际变化较大,洪涝灾害一直是危害城市发展的主要灾害。历史上,受台风带来的强降雨,厦门遭受过多次暴雨洪涝灾害。

已有的研究方法中,综合指标体系法考虑角度全面且能够利用GIS很好地进行

结果的可视化，因而成为较常用的灾害风险评估方法，不同学者也提出了不同的评
有研究，同时结合厦门市实际发展情况，此次研究从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾主体易损性、防洪防涝能力这四个角度对厦门市暴雨洪涝风险进行综合评估，构建三级指标因子评估体系，如图 1 所示，包含一级指标 1 个，二级指

价体系，参考自然灾害风险评估原理的既
标 4 个，三级指标 9 个。运用 AHP 层次分析法、专家打分法对各个因子权重进行权重赋值，运用加权综合评价法将各级指标进行逐步综合，最终得到洪涝灾害风险评价结果。

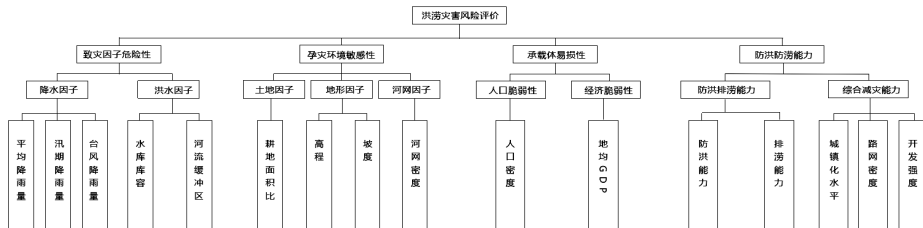


图 1. 洪涝灾害风险评价体系

AHP 层次分析法是常用的赋权方法之一，运用主观和客观相结合的方式，将复杂问题分解为若干层次和要素，并通过专家打分的方式对各要素重要性进行比较，此次研究的层次分析法采用九度标度的打分原则，通过构造判断矩阵，最终计算得到各级指标的权重。加权综合法通过综合评价方法，通过构建指标评价体系，综合各级要素权重，得到最终的分析评价结果，其计算公式为：

$$C = \sum_{i=1}^m Q_i W_i$$

其中，C 表示综合评价结果， Q_i 表示第 i 个指标， W_i 表示这一指标的权重，m 表示评价指标个数。最终计算得到的各级指标的权重如图 2 所示。

3.2 三种降雨等级下的灾害情景模拟

不可否认，基础设施的不断建设与设防标准的逐渐提高，确实在很大程度上拉动了厦门整个城市韧性的提高，但存在的问题就是日益频繁的极端灾害很有可能会突破城市的基础设施防御，实际上隐藏着较大的灾害风险。因此，本文构建了三种不同降雨情景下的洪涝风险评估，分别是多年年均降水量情景，代表普通情景；多

C 级因子名称及权重 ^o	D 级因子名称 ^o	D 级因子权重 ^o
C1: 降水因子 0.1786 ^o	D1: 平均降水量 ^o	1 ^o
	D2: 汛期降水量 ^o	1 ^o
	D3: 台风降水量 ^o	1 ^o
	备注: 作为三个情景 ^o	1 ^o
C2: 洪水因子 0.0815 ^o	D4: 水库库容 ^o	0.6931 ^o
	D5: 河流缓冲区 ^o	0.3069 ^o
	小计 ^o	1 ^o
C3: 土地因子 0.1738 ^o	D6: 耕地面积比 ^o	1 ^o
C4: 地形因子 0.0393 ^o	D7: 高程 ^o	0.5 ^o
	D8: 坡度 ^o	0.5 ^o
	小计 ^o	1 ^o
C5: 河网因子 0.0949 ^o	D9: 河网密度 ^o	1 ^o
C6: 人口脆弱性 0.0387 ^o	D10: 人口密度 ^o	1 ^o
C7: 经济脆弱性 0.0274 ^o	D11: 地均 GDP ^o	1 ^o
C8: 防洪排涝能力 0.1762 ^o	D12: 防洪能力 ^o	0.5 ^o
	D13: 排涝能力 ^o	0.5 ^o
	小计 ^o	1 ^o
C9: 综合减灾能力 0.1895 ^o	D14: 城镇化水平 ^o	0.652 ^o
	D15: 路网密度 ^o	0.201 ^o
	D16: 开发强度 ^o	0.147 ^o
	小计 ^o	1 ^o

图 2. 厦门洪涝风险评估权重指标一览表

年汛期年均降水情景，代表一般灾害情景；“莫兰蒂”台风带来的暴雨降水情景，代表超过设防标准的极端灾害情景。以这三种不同的降雨情况分别作为各情景的降水因子。希望通过三种具有代表性的灾害情景，基于变量控制的方法反映出：防灾工程、基础设施建设、设防标准提高确实能够改善城市韧性，但在面临非常规灾害时，一味地依赖防灾工程基础设施，不能有效的降低灾害风险。

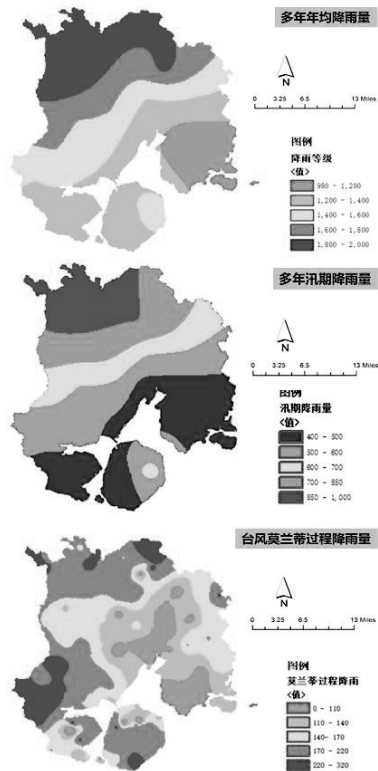


图 3. 多情景降雨情况模拟

3.3 其他评估因子

洪水因子，洪水是致灾因子危险性的另一个重要因子。越接近江、河、湖、库，洪水危险程度越高。此外，河流级别越高，水域面积越大，发生灾害时其波及范围越大。通过对不同的河网、水库建立缓冲区，来评估河网分布对洪水危险性的影响程度，缓冲区宽度代表不同地段受洪水侵袭的难易程度。

地形因子，厦门主要以滨海平原、台地和丘陵等地形为主，地势由西北向东南倾斜。山体地形会影响局部降雨，对于地势陡峭地区，灾暴雨时更加容易遭遇山洪泥石流等风险，地形低洼地区更容易被淹没，所以此次评估，综合考虑高程和坡度两个因素进行叠加分析，得出相应的地形因子。

土地因子，不同的土地利用类型会影

响所在地区自然的水调节能力以及雨水在地表的径流情况，山林土壤中水下渗较容易，不容易积水，以农林为主的其他用地次之，城市建设用地由于不透水的硬化表面居多，水调节能力最差。本次评估中土地因子方面主要考虑林地、耕地面积所占比重。

河网因子，厦门市溪流为典型的山溪型小溪流，且上游山体坡度大，山洪汇水速度更快；下游城区地势平缓低洼，同时由于邻海，存在海水顶托现象。针对厦门市河网密布这一自然特点，有必要针对河网这一重要孕灾因子进行评价分析。此次研究中，通过对厦门原始地形 dem 数据进行处理，生成无洼地 DEM，继而通过地表径流模拟、水流长度计算、河网提取、河流密度分析等步骤，最终生成厦门河网密度。

承灾体易损性指人类、社会、经济财产易受或敏感于自然灾变破坏和伤害的状态^[11]，主要指可能受到各种灾害威胁的人民生命财产的损失程度，这与该地区的人口和财产集中的程度有很大的关系，人口和财产越集中，不仅受灾人口数量更多，遭受的社会经济损失也更大，即易损性更高^[12]。参考相关承载体易损性的研究、数据的可获取性和可操作性，此次研究易损性主要选取人口密度、GDP 密度 2 个指标来综合反映，在其他灾害情况一样的前提下，人口密度、GDP 密度越大，在面临自然灾害风险时遭受的损失就越严重。

防洪防涝能力的高低更多的反映在防洪防涝工程的建设、相应基础设施的配套以及灾害管理措施等方面。由于洪涝灾害涉及的工程性措施种类较多且不同种类的设防标准难以统一到同一评判标准下，相应的一些应灾办法的实际效果也难以考量。因此为了更加全面反映城市的防洪防涝能力，此次研究对城市发展水平进行考量，因为城镇化水平、路网密度、开发强度等城市建设指标也间接或直接地影响着政府在防洪防涝等基础设施建设方面的投资多少，进一步反映着防灾减灾能力的强弱。

3.4 实证结果分析

通过对这三种情景下各类因子进行加权叠合分析,得出厦门市在常态降雨、汛期降雨、极端灾害降雨情况的洪涝风险评估结果。可以很清楚的看到,北部山地地区风险等级一直很高,这很大程度上是受到地势以及地形影响带来的高降雨量影响的结果。随着降雨等级的提高,海沧区、集美区和本岛西北部地区洪涝风险也不断提高。

比较年均降雨与汛期降雨的结果可以发现,即使在汛期更高强度的降雨情景下,厦门各地区的洪涝风险并没有明显的提升。这反映出厦门在历史上不断经历洪涝灾害的过程中已经逐步提升洪涝韧性,虽然主要是通过物理设防减灾的方式,但已经能够较好的应对预期中的洪涝风险,反映出基础设施建设带来的城市韧性红利。

但与“莫兰蒂”台风为代表的设防标准外降雨情景相比较可以发现,厦门市整体面临的洪涝风险等级明显提高。这一方面当然也是灾害等级提升所带来的必然影响,但对比厦门市其他区域可以发现,本岛以及海沧集美区这类城市发达区域的灾害等级提升程度最大。这一方面反映出由于大规模城市化建设,导致原有自然生态的调节能力丧失,另一方面也反映出现有的基础设施建设以及标准难以应对这类极端灾害。

长期以来,厦门关于洪涝灾害已经在防洪堤、排水泵、管网标准等一些列硬件措施上投入了巨大的人力物力,每一次设防标准的提高都会带来巨大的建设成本,此外,类似于防洪堤、水库这类大型基础设施一般不会拆除,会长期性地损坏地区河流生态系统,增加长期的洪水风险。一般认知中,防洪堤坝对于城市是不可或缺的,然而,韧性理论认为以工程性设防为代表的方式是会降低城市承洪韧性的^[13]。我们需要认识到,防灾设施的边际效益是随建设量级的不断提高而逐步递减的,且它越发不能满足极端多变气候的需求,导

致城市的防灾处于完全被动的局面,不断提高的设防标准增加着巨额的财政负担,单一的韧性提升措施犹如木桶短板一样独木难支,因此,从韧性理念出发,关于城市如何韧性承洪需要我们转变提升思路。



图 4. 多情景下的厦门暴雨洪涝风险评估

4. 韧性对城市雨洪管理的启示

韧性理念对转变传统灾害管理模式具有很大的指导意义,从隔绝防御再到适应学习既是理论发展的历史沿革,也是现代城市灾害治理的转型需求,给予我们多方面的启示:

4.1 转变旧有的对洪涝灾害的理念认识

从机械静态对抗方式向积极学习转变,从“驱害舍利”到“趋利避害”转变。传统的防灾理念已经越发的难以适应现在多元极端的灾害环境,过去很长一段时间不断兴建的工程性设施和不断提高的设防标准并不是城市应对灾害的长久之计,在表面的安全之下,实则隐藏着人与自然的对立关系以及企图一劳永逸的规避思想。韧性理念指引下的城市追求的应该是社会生态的和谐关系,积极去应对灾害,从灾害中去学习,在合理提高城市工程基础设施韧性的同时更加关注生态环境、将洪水看作可以转化的灾害资源,构建能够包容周期性洪灾,具有雨洪韧性的城市发展模式。

4.2 弥补生态韧性短板,形成健康的城市韧性结构

全面认识城市韧性理念,运用生态智慧理念弥补城市韧性短板。城市韧性是一个多元的理念,已有的研究从经济韧性、社会韧性、环境韧性、基础设施韧性等多个角度对城市韧性进行度量^[14]。过去依赖工程设施建设,实际上只关注到城市韧性中的工程韧性这一个单方面。在快速城镇化进程中,城市无序的快速扩张严重破坏了所在区域的生态系统,许多城市宝贵的水体和绿地被用作城市开发建设,导致城市外部生态割裂,内部系统失调。生态韧性已经成为城市灾害韧性的突出短板,根据木桶效应,相比继续在防灾工程和基础设施方面投入大量财力物力,转变不合理的土地开发利用模式、运用生态智慧理念提升生态韧性将会更加有效的提高城市应对灾害的能力,形成健康的城市韧性结构。

4.3 以城市社区为基本学习单元,提升社区韧性

作为直接的受灾主体,加强城市社区韧性建设对于提高城市韧性具有举足轻重的意义。城市社区是城市社会构造的基层单元,也是城市在面临各种自然灾害侵扰时的直接受灾对象,正像上文所述,因为依赖各类工程基础设施所构建的相对稳定

的外部环境,人们对灾害长期处于意识上低警惕和应灾上低能力的状态,社会韧性、社区韧性同样远远落后于基础设施韧性。因此,我们需要采取措施加强社区韧性,比如让社区居民参与到韧性社区建设中来,在周期性的雨洪灾害中,通过自上而下和自下而上相结合,提高社区集体应灾意识,加强社区自主防灾能力,同时加强防灾教育,从相关政策制定到不同层面的科普,再到基层社区的演练,都能不断提升居民自助互助的应灾能力^[15]。

5. 结语

基于韧性理念,以厦门为例,笔者进行了多情景下的洪涝风险分析。研究采用了因子评估法构建了洪涝风险综合评估指标体系。通过不同降雨等级设置了普通状态、一般灾害、极端灾害三种情景模式,采用不同情景下横向比较的方式分析了厦门的洪涝风险情况。分析表明,通过工程性防灾手段,厦门市能够较好的应对常规的洪涝灾害,但在面对极端天气时,单单依靠这类手段依然具有较高的风险,这也佐证了如今城市灾害管理方面的所不断强调的韧性理念。受到多种因素制约,本研究存在一定的局限性:首先是指标体系的构建和权重的确定虽然力求客观准确但仍存在一定的主观性,可能会对灾害风险分析结果存在一定影响;其次,由于资料和方法的限制,本文以城市发展水平来侧面反映城市工程性设防的建设情况的方法存在不严谨,还有待进一步完善。

城市韧性的建设在中国方兴未艾,要求我们改变过去的传统观念,在意识上从对抗转为适应,由被动防御转为积极学习,但韧性理念的提出为城市更好的应对灾害提供了良好的理论平台,也对未来城市防灾建设提出了更高更多元的要求,未来如何更好的进行城市韧性的评估和建设仍充满挑战,是值得进一步研究和探索的领域。

参考文献

- [1] Arnell N W. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. Global

- Environmental Change, 2004, 14(1): 31-52.
- [2] Zevenbergen C, Gersonius B. Challenges in Urban Flood Management // Ashley R, Garvin S, Pasche E, Vassilopoulos A, Zevenbergen, eds. *Advances in Urban Flood Management*. New York, USA: Taylor & Francis, 2007: 1-11. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203945988.ch1..>
- [3] Li S J, Xie Y X, Cheng X T, Chen Z F. Utilization of flood simulation technique in urban flood warning - a case study on Fuzhou. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 2015, 5(2): 120-128
- [4] 廖桂贤,林贺佳,汪洋.城市韧性承洪理论——另一种规划实践的基础.国际城市规划,2015,(2):36-47.
- [5] 邵亦文,徐江.城市韧性:基于国际文献综述的概念解析.国际城市规划,2015,30(02):48-54.
- [6] Holling C S. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4.
- [7] 周利敏. 从社会脆弱性到社会生态韧性:灾害社会科学研究的范式转型. 思想战线,2015,41.
- [8] 杨敏行,黄波,崔翀,肖作鹏.基于韧性城市理论的灾害防治研究回顾与展望.城市规划学刊,2016(01):48-55.
- [9] 付豫蜀. 基于传统生态智慧的城市雨洪管控探索.2017 城市发展与规划论文集., 2017:6.
- [10] 周艺南,李保炜.循水造形——雨洪韧性城市设计研究.规划师,2017,33(02):90-97.
- [11] 商彦蕊.人为因素在农业旱灾形成过程中所起的作用 .自然灾害学报, 1998, 7 (4):34-43.
- [12] 莫建飞,陆甲,李艳兰,匡昭敏.基于 GIS 的广西农业暴雨洪涝灾害风险评估.灾害学,2012,27(01):38-43.
- [13] Holling C S, Meffe G K. Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation Biology*, 1996, 10(2): 328-37.
- [14] 李亚,翟国方. 我国城市灾害韧性评估及其提升策略研究. 规划师,2017,33(08):5-11.
- [15] 梁宏飞. 日本韧性社区营造经验及启示——以神户六甲道车站北地区灾后重建为例. 规划师,2017.