

常州市防洪减灾科学决策模型构建研究

姜 源

上海大学, 上海

收稿日期: 2022年8月25日; 录用日期: 2022年9月5日; 发布日期: 2022年9月19日

摘 要

随着城市快速发展, 各类灾害频繁发生, 尤其是城市洪涝灾害的发生直接导致人员伤亡、财产损失, 严重影响城市生活和生产秩序。因此, 科学的城市防洪减灾决策是尽可能降低灾害损失的关键。本文首先介绍洪灾易损性的概念以及城市防洪减灾科学决策和洪灾易损性之间的关联; 其次构建城市防洪减灾科学决策模型, 基于灰色关联理想解法分析洪灾易损性; 然后对常州市城市防洪减灾决策模型进行实证应用, 对常州市各区的洪灾易损性进行等级划分; 最终根据常州市各区洪灾易损性等级的划分提出常州市防洪减灾工程规划方案, 包括小包围、中包围和大包围三种方案, 为解决常州市城市防洪减灾重要问题, 优化常州市城市防洪体系, 保护城市居民人身财产安全作出贡献。

关键词

防洪减灾, 科学决策, 洪灾易损性

Research on the Construction of Scientific Decision-Making Model for Flood Prevention and Mitigation in Changzhou City

Yuan Jiang

Shanghai University, Shanghai

Received: Aug. 25th, 2022; accepted: Sep. 5th, 2022; published: Sep. 19th, 2022

Abstract

With the rapid development of the city, all kinds of disasters occur frequently, especially the occurrence of urban flooding disasters directly lead to casualties and property losses and seriously affect the order of urban life and production. Therefore, scientific urban flood mitigation decision

is the key to reducing disaster losses as much as possible. This paper firstly introduces the concept of flood vulnerability and the correlation between scientific urban flood mitigation decision and flood vulnerability; secondly, it constructs a scientific urban flood mitigation decision model and analyzes flood vulnerability based on the gray correlation ideal solution method; then empirically applies the urban flood mitigation decision model in Changzhou City and classifies the flood vulnerability of each district in Changzhou City; finally, according to the classification of flood vulnerability of each district in Changzhou City, the flood mitigation engineering planning scheme of Changzhou City is proposed, including three schemes of small encirclement, medium encirclement and large encirclement, which can contribute to solving the important problems of urban flood mitigation in Changzhou City, optimizing the urban flood prevention system of Changzhou City and protecting the personal and property safety of urban residents.

Keywords

Flood Mitigation, Scientific Decision-Making, Flood Vulnerability

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

洪涝灾害不仅孕育了人类文明的发展,同时也给人类社会的发展带来了危害。洪水灾害与降水时空分布及地形有关,常州整体地理位置在太湖以西,长江以南,西南面辖市溧阳部分地区属于天目山余脉,水系密布,京杭运河从市中心穿越,境内水系丰富;地形总体由西向东逐渐降低,内部因常州整体属于长江中下游,低洼地分布较广,主要分布在城市几条主要河道两侧。自古常州市洪水频发,据史料记载,自晋升平二年(公元 358 年)到有水情记载的 1931 年,总共发生 121 次洪水;2015 年 6 月常州市先后遭受 3 轮强降雨袭击,引发常州市历史罕见的洪涝灾害,全市平均雨量达 558 mm,超出同期历史平均值的 2.2 倍,其中大运河常州站实测雨量为 727 mm,为同期历史平均值的 4.3 倍,27~29 日强降雨造成的洪涝灾害给常州市带来的直接经济损失达 55.559 亿元。

因而,为尽可能降低灾害损失,防洪减灾科学决策是关键[1]。构建常州市防洪减灾科学决策模型,进而进行实证应用,分析常州市各区的洪灾易损性,以此为科学依据提出常州市防洪减灾工程规划方案,可进一步提升城市防洪决策能力及城市排水能力,优化城市防洪体系,保护城市居民的人身财产安全。

2. 文献综述

目前学者针对洪涝灾害的讨论主要集中在以下三个板块:预警,风险评估,对策研究。

从洪涝灾害的预警方面来看,翟思贝等[2]基于水文数据的分析整理和计算,以多类统计模型为基础,建立了洪涝灾害预警系统;王慧敏等[3]则提出了大数据驱动的城市洪涝灾害风险感知与预警决策研究范式。也有学者构建了降水-流量关系模型;并基于水动力演进法得到流量-水位关系模型,从而实现了对暴雨洪涝灾害的危险程度的量化分析和快速预警评估[4]。

从洪涝灾害的风险评估方面来看,许多学者对城市洪涝灾害风险进行了定量分析,设计基于 AHP 层次分析法和熵权法计算城市洪涝指标的权重,结合洪涝数据与指标权重值对城市的洪涝灾害风险等级进行了评估[5] [6] [7]。张丽媛等[8]在上述的基础之上,还通过 WGA 算子分析了指标的灵敏度,从而绘制

了潍坊市农业洪涝灾害风险等级图。

从洪涝灾害的对策研究角度来看,目前学者的讨论大部分停留在对于特定事件的分析,或集中于洪涝灾害的次生危害防治。如杨为[9]从社区治理的角度阐释了如何对洪涝灾害进行应急管理;王海亮[10]在风险管理的视角下提出了开展风险评估、制定防御规划、修订应急预案等针对性的改进措施和建议。

3. 城市防洪减灾科学决策模型构建

3.1. 洪灾易损性概念及与科学决策的关联

洪灾易损性是当城市受到洪水侵蚀时,易于受到损失的程度。它表达了人类社会和其所有财产对洪灾的承受能力,是自然系统和人类系统的函数。对洪灾易损性进行分析,首要便是对承灾体在受到洪涝时受到的损失进行评价[11]。对洪灾易损性的研究,有助于在洪灾发生时降低灾害损失,为城市防洪减灾决策提供科学依据。因为洪灾易损性不仅与自然系统有关,还与人类社会系统有关,所以评价洪灾易损性要考虑诸多因素[12]。综合考虑城市地形地貌、城市社会资产、城市水利工程措施等,而且这些因素之间互相联系,很多因素难以定量分析,存在诸多不确定性。洪灾易损性的等级是一个随时间、随地域不断变化的动态过程,与城市的发展和变迁有密切联系。

3.2. 洪灾易损性分析方法

本文采用灰色关联理想解法分析洪灾易损性,此方法集成理想解法 TOPSIS 和灰色关联法 GC,综合了两种方法的优点,不仅考虑样本间的空间距离,而且考虑样本本身的相似性。灰色关联理想解法集体步骤如下图 1。

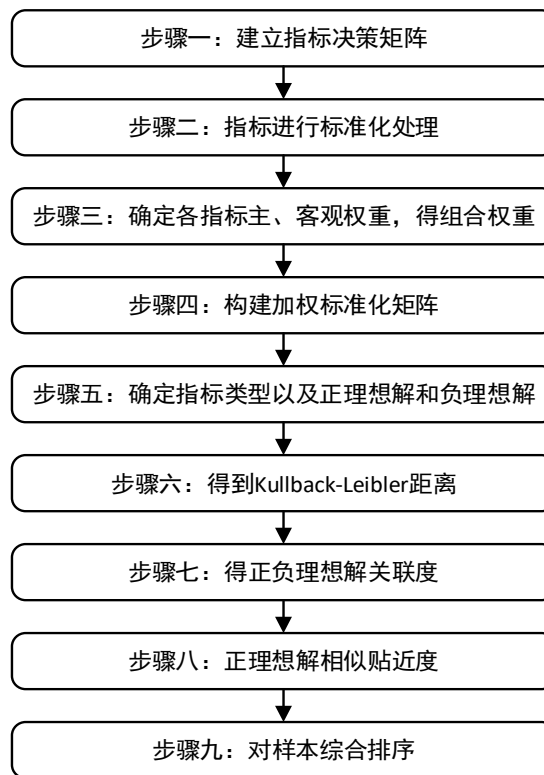


Figure 1. Steps of grey correlation ideal solution method
图 1. 灰色关联理想解法步骤

4. 常州市城市防洪减灾决策评价实证

4.1. 常州市各区洪灾易损性分析

为常州市城市各个区域进行科学预防和防范, 为了加强防洪减灾的针对性, 需要对常州市洪灾易损性进行评价与诊断。将常州市洪灾易损性指标划分为 5 个不同的等级, 分别为高、较高、中等、较低和低易损 5 个等级, 如表 1 所示。同时收集常州市各区县 2012 年和 2014 年的相关评价指标数据, 如表 2 所示。

Table 1. Flood vulnerability evaluation index level classification criteria

表 1. 洪灾易损性评价指标等级划分标准

指标	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
人口密度 u_1 (人/km ²)	8400	6400	4400	2400	400
老幼人口比重 u_2 (%)	2.1	1.8	1.5	1.2	0.9
地均生产总值 u_3 (亿元/km ²)	7	5.5	4	2.5	1
企业单位数 u_4 (个)	2100	1600	1100	600	100
交通设施资产量 u_5 (万元)	410,000	310,000	210,000	110,000	10,000
播种面积 u_6 (千公顷)	100	75	50	25	0
医院床位数 u_7 (张)	300	2800	5300	7800	10300
水利设施资产量 u_8 (万元)	1000	201,000	401,000	601,000	801,000

Table 2. Evaluation index system of flood vulnerability of Changzhou districts and counties in 2012 and 2014

表 2. 常州各区县 2012 年、2014 年洪灾易损性评价指标体系

地区	年份	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8
武进区	2012	1287.48	1.75	1.23	1731	140,665	47.72	4935	837,038
	2014	1291.18	1.73	1.53	1911	423,944	46.26	4467	520,675
新北区	2012	1364.34	1.24	1.55	853	77,242	26.51	1155	325,269
	2014	1375.17	1.18	1.99	959	346,609	25.28	1117	299,379
天宁区	2012	8047.06	1.51	6.05	227	45,680	0.11	8371	53,279
	2014	8050.13	1.54	7.35	253	246,596	0.06	10,650	177,719
钟楼区	2012	7727.89	1.52	5.39	244	23,289	0	1051	153,427
	2014	7733.87	1.51	6.75	270	71,968	0	1510	162,392
戚墅堰区	2012	3377.53	2.04	2.84	97	21,875	0.28	347	1308
	2014	3377.66	2.02	3.47	113	16,100	0.28	567	11,627
溧阳市	2012	495.46	1.55	0.36	349	37,070	95.03	2591	149,117
	2014	495.40	1.61	0.47	412	124,316	94.21	2817	77,429
金坛市	2012	572.32	1.97	0.38	368	95,294	56.73	1938	40,043
	2014	571.91	1.88	0.48	432	211,389	55.55	2119	84,469

步骤一：将 14 个区县评价样本与等级标准构建成决策矩阵；

步骤二：标准化处理决策矩阵，形成标准化矩阵；

步骤三：根据专家打分，采用 AHP 方法确定权重；

$$\omega = (0.297, 0.086, 0.132, 0.070, 0.125, 0.150, 0.040, 0.101)$$

步骤四：根据标准化矩阵和权重，构建加权标准化矩阵；

步骤五：当 $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6$ 的值越大时，易损性等级越高定为效益型指标， u_7, u_8 为成本型指标，分别得到正理想解 u^+ 和负理想解 u^- ；

$$u^+ = (0.279, 0.074, 0.131, 0.066, 0.123, 0.150, 0.001, 0.003)$$

$$u^- = (0.002, 0.001, 0.001, 0.002, 0.001, 0.000, 0.039, 0.101)$$

步骤六：利用 TOPSIS 法，计算正、负理想解的 KL 距离 S^+ 和 S^- ；

步骤七：根据步骤五的结果，运用灰色关联法，得出灰色关联度 R^+ 和 R^- ；

步骤八：计算相似贴近度 π_i 。

$\pi_i = (0.245, 0.361, 0.195, 0.271, 0.338, 0.350, 0.187, 0.208, 0.283, 0.300, 0.079, 0.192, 0.190, 0.200)$ 从而得出表 3。

Table 3. Vulnerability calculation table for each district and county in Changzhou

表 3. 常州市各区县易损性计算表

区县	时间	相似贴近度	排序	易损级别	易损性变化趋势
武进区	2012	0.245	3	3	↑
	2014	0.361	1	1	
新北区	2012	0.195	4	4	↑
	2014	0.271	4	2	
天宁区	2012	0.338	1	1	↑
	2014	0.350	2	1	
钟楼区	2012	0.283	2	2	↑
	2014	0.300	3	1	
戚墅堰区	2012	0.187	6	4	↑
	2014	0.208	5	3	
溧阳市	2012	0.079	7	5	↑
	2014	0.192	7	4	
金坛市	2012	0.190	5	4	↑
	2014	0.200	6	3	

根据表 3 中对各个地区的评级，绘制出图 2 的易损性等级可视图。

4.2. 常州市防洪减灾工程规划方案

根据常州市各区的洪灾易损性分析，并结合常州市政府防洪规划和常州市地理环境等因素，提出以下三个防洪减灾决策方案。

1) 小包围方案

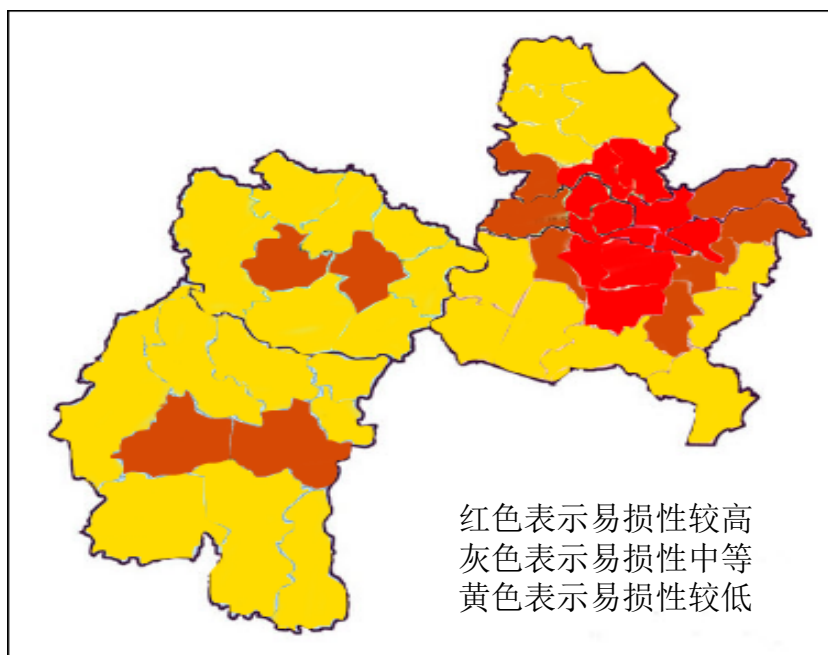


Figure 2. Vulnerability level of each district in Changzhou
图 2. 常州市各区易损性等级

结合水系、地形条件，充分保留原有骨干性河道行洪，建立防洪排涝水利控制小片，实现分片治理。方案将关河、京杭运河、横塘河、北塘河、澡港河及其他规模较大的主要河道如南运河、青龙港、白荡河、大通河、采菱港、武南河等均留作外河，基本不改变原有河道水系。规划区域分成 11 个水利分片，分片外河堤防为城市的防洪岸线，综合考虑防洪排涝、航运、水环境等功能需求，分类布置堤防、护岸、水闸等防洪工程，并适当拓浚河道。各片按其用地性质、重要性采取不同的排涝模数，排水以小区排水为主，自排与抽排相结合，片内雨水排入小区内河或浜斗，通过排涝泵站抽排至外河，地势较高的小区可直接自排进入外河，片内河道根据排水、水环境、景观等需要进行整治。凤凰河以东地区地势较高，重点解决局部低洼地的排涝问题。

共设置闸站 59 座，排涝泵站 103 座，总排涝流量 409.03 立方米每秒；其中新建水闸 36 座，排涝泵站 76 座，总排涝流量 331.7 立方米每秒。

2) 中包围方案

在小包围格局基础上，结合水系、地形情况，对控制片进行适当归并，缩短防洪战线。方案考虑高新片、横塘西片和横塘东片将是常州市的政治、文化中心和主要的生活居住区，对防洪除涝及水环境等具较高要求，将高新片、横塘西片和横塘东片合并成为新区横塘片，总面积为 60.6 平方公里，北塘河和横塘河作为片内主要内河，有利于综合整治；考虑潞横东青片、革新片的水系及今后开发情况，合并成为潞横革新片，面积为 48.2 平方公里，潞横河、革新河和机厂河作为该片的主要内河。丁塘港两岸根据原城市规划主要为绿化用地，留作外河。其他分片情况同小包围方案。

共设置闸站 66 座，泵站 92 座，总流量 522.03 立方米每秒。其中新建闸站 46 座，排涝泵站 68 座，总流量 454.7 立方米每秒。主要河道工程规模同小包围方案。

3) 大包围方案

通过对片内河道排涝水位进行分级控制和片外围水闸和泵站的抽排，使片内最高水位在设计暴雨情况下不超过排涝控制水位，有效降低原运河、关河等市中心骨干河道的最高水位及护岸高程，有利改善

城市景观, 与城市总体规划目标相协调。大包围方案在中包围方案的基础上, 将规划区共分成 4 个片, 即运北片、潞横革新片、湖塘片、采菱东南片, 共 319.6 平方公里。防洪工程主要是对外河进行河道整治, 包括堤防、护岸和河道拓浚, 并在两侧支河口门设控制建筑物及排涝泵站, 通过水闸和泵站分级控制片内水位; 内河结合城市排水、景观、绿化进行河道清淤和整治。片内涝水高地自排, 低洼地区通过填高地坪或利用已建排涝泵站抽排。

共设置闸站 93 座, 排涝泵站 109 座, 总流量 896.4 立方米每秒; 其中新建闸站 39 座, 排涝泵站 36 座, 总流量 538.7 立方米每秒; 另增建大运河西枢纽引水泵站 40 立方米每秒。主要河道工程规模基本同中包围方案。

5. 结束语

常州市是一座洪涝灾害频发的城市, 加强防洪减灾决策、做好城市防洪专项规划对支撑和保障新一轮常州市城市发展意义重大。本文构建常州市防洪减灾科学决策模型, 分析常州市各区洪灾易损性, 得出常州市哪些区域遭到洪水侵蚀时损失较大, 为常州市防洪减灾工程规划方案的提出提供科学依据。下一步, 笔者将对提出的三个方案进行综合评价, 结合常州市防洪减灾调度的特点, 构建常州市防洪减灾方案评价指标体系, 运用层次分析 AHP 的方法找出最优的方案, 以期更好优化常州市防洪体系建设, 更大幅度地使人民免受洪涝灾害带来的损失。

参考文献

- [1] 姜仁贵, 王思敏, 解建仓, 赵勇, 朱记伟, 梁骥超. 变化环境下城市暴雨洪涝灾害应对机制[J]. 南水北调与水利科技, 2022, 20(1): 102-109.
- [2] 翟思贝, 范海玲, 杨波. 基于水文大数据分析技术的洪涝灾害预警系统设计[J]. 水利技术监督, 2022(5): 53-56+74.
- [3] 王慧敏, 黄晶, 刘高峰, 佟金萍, 曾庆彬. 大数据驱动的城市洪涝灾害风险感知与预警决策研究范式[J]. 工程管理科技前沿, 2022, 41(1): 35-41.
- [4] 于琛, 胡德勇, 段欣, 张亚妮, 曹诗颂, 张旸. 基于降水-流量关联与水力模型的暴雨洪涝灾害预警[J]. 水电能源科学, 2019, 37(10): 1-4.
- [5] 程朋根, 黄毅, 聂运菊, 吴静, 胡水平. 基于多源数据的城市洪涝灾害风险评估[J]. 灾害学, 2021(12): 1-10.
- [6] 郑德凤, 高敏, 李钰, 乌日娜. 基于 GIS 的大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(3): 1-8.
- [7] 蒋雯京, 程春梅, 张艳蓓, 赵红. 基于 GIS/AHP 集成的浙江省洪涝灾害风险评估[J]. 测绘通报, 2019(2): 125-130.
- [8] 张丽媛, 杨文通. 基于 WGA 算子-熵权法的农业洪涝灾害风险评估——以潍坊市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2021(12): 1-11.
- [9] 杨为. 社区应急管理现状及对策——以某市某社区洪涝灾害等突发事件为视角[J]. 湖南安全与防灾, 2020(8): 38-40.
- [10] 王海亮, 王阳, 敬雨男, 袁婧. 风险管理视角下鄱阳湖流域暴雨洪涝灾害防御对策与建议[J]. 气象与减灾研究, 2018, 41(4): 304-309.
- [11] 王倩雯, 曾坚, 辛儒鸿, 梁晨. 城市化进程对暴雨洪涝灾害风险影响效应研究——以闽三角地区为例[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(5): 72-84.
- [12] 崔堃鹏, 王建伟, 林金良, 宁占金, 石宽, 汪雁, 耿超. 洪涝灾害应急救援技术的发展趋势分析[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 150-155.