

基于自然的解决方案与社会制度手段的 防洪综合效益 ——以鄱阳湖流域为例

李 萌

(中国社会科学院生态文明研究所, 北京 100028)

摘 要:全球正在致力于探索有效的方法来减缓水风险,以提高气候适应能力。防洪问题具有自然和社会的双重属性,需要将基于自然的解决方案与社会制度手段进行结合,采取更为系统的战略实现对自然生态与社会生产的双重管理。运用参与式系统动力模型以及情景分析法,选取鄱阳湖为案例,综合考证基于自然的解决方案与社会制度手段在降低洪水风险上的潜力,以及衍生的社会、经济、生态的多种收益。研究结果表明:(1)基于自然的解决方案与社会制度通过不断反馈与循环的作用机理逐渐调节影响洪灾规模的关键要素,来达成防洪及减轻洪涝灾害的目的。(2)在防洪效益的基础上,基于自然的解决方案和社会制度手段还衍生出了生态、经济和社会方面的效益,但基于自然解决方案的效用发挥呈现出更明显的时滞性。(3)基于自然的解决方案与社会制度手段两种策略相辅相成,要发挥基于自然的解决方案的长期效用,在社会制度手段上需提升社会层面对防洪的安全意识、资金支持、机构合作、能力建设等;要保持社会制度手段的长期效用,也必须有一定基于自然的解决方案作为基础。研究认为因地制宜地选择两类管理手段相应措施的优化组合,更利洪水风险的管理和产生更好的综合效益。

关键词:基于自然的解决方案;社会制度手段;参与式系统动力模型;鄱阳湖流域防洪

中图分类号:P467;D632

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2023)03-0178-14

Comprehensive benefit of flood control based on natural solution and social system

LI Meng

(Research Institute for Eco-civilization, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100028, China)

Abstract: In order to improve climate resilience, the world is working to explore effective ways to mitigate water risks. The flood control problem has the dual attributes of nature and society. It is necessary to combine nature-based solutions with social institutional means, and adopt a more systematic strategy to realize the dual management of natural ecology and social production. Using the participatory system dynamics model and scenario analysis method, this paper selects Poyang Lake as a case to comprehensively examine the potential of nature-based solutions and social institutional means in reducing flood risk, as well as the derived social, economic and ecological benefits. The results show that : (1) Nature-based solutions and social systems gradually adjust the key factors affecting the scale of floods through the mechanism of

收稿日期:2022-10-23 修回日期:2023-03-01

基金项目:国家自然科学基金重点项目“面向碳中和的中国经济转型模式构建研究”(TZ140001);中国社会科学院创新工程重大科研规划项目“国家治理体系和治理能力现代化研究”(2019ZDGH014)。

作者简介:李萌(1973—),女,湖北宜昌人,中国社会科学院生态文明研究所副研究员,经济学博士,研究方向为可持续发展经济学。

continuous feedback and circulation to achieve the purpose of flood control and flood mitigation. (2) On the basis of flood control benefits, nature-based solutions and social institutional means also derive ecological, economic and social benefits, but the effectiveness of nature-based solutions presents a more obvious time lag. (3) The two strategies of nature-based solutions and social institutional means complement each other. In order to give full play to the long-term effectiveness of nature-based solutions, it is necessary to enhance the safety awareness, financial support, institutional cooperation and capacity building of flood control at the social level in terms of social institutional means. To maintain the long-term effectiveness of social institutional means, there must also be a natural-based solution as a basis. The optimal combination of the corresponding measures of the two types of management methods is more conducive to the management of flood risk and the generation of multiple common benefits.

Key words: nature-based solutions; socio-institutional measures; participatory system dynamic models; Flood Control in Poyang Lake Basin

随着全球变暖,自然灾害在世界各地愈加频发。根据全球灾害数据平台的统计,1992—2022年,全球共发生包括洪涝、热带风暴、地震、干旱、地质灾害、森林和草原火灾以及海洋灾害等方面共9700余起自然灾害。其中,洪涝灾害占比高达46.01%,直接经济损失的GDP占比为11.38%。从地理分布来看,亚洲是受洪涝灾害最严重的地区。大数据显示,我国近年来洪涝灾害多发频发,仅1991—2020年,全国年均因洪涝灾害死亡或失踪人口已达2020人,总计逾6万人死亡,年均造成直接经济损失1604亿元,总计约4.81万亿元。作为易受洪涝灾害威胁的鄱阳湖流域,系长江水系的重要组成部分,位于长江中下游南岸,与江西省行政辖区基本重叠(占江西省全省流域面积的97%),亦是国内重要的商品粮基地和江西省核心工业基地。近50年来,该流域平均五年四灾,2020年爆发特大洪灾,成为历史之最。长期的频繁的洪涝灾害威胁流域内人民的生命及财产安全,严重制约流域及周边的经济、社会、生态等和谐发展^[1]。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告警示,人类正受到气候暴击。预计随着时间的推移,气候变化及人类活动导致洪涝频率和严重程度还会增加。为此,决策者亟需寻求创新的风险管理和解决方案。在过去的几十年里,减少洪涝灾害影响的最常见方法是使用“灰色”的解决方案,如水坝、路堤、堤防等。实践证明,这些侧重工程性或工业性的资本密集型举措,在短期内应对洪水对人类社会威胁的同时,也切断了洪水对洪泛区的生态培育过程,河流的水循

环分离、绝缘化等带来洪泛区生态系统的必然退化,而且还可能引致更多其他生态环境的变化和长期性的生态风险。以自然为基础的解决方案(即受自然启发和支持,同时提供环境、社会和经济效益的解决方案。如湿地恢复、河道疏通、洪泛区生态空间补充等),近年来在世界上正受到广泛的关注。《联合国世界水发展报告2018》提出,现在比任何时候都更应该与自然合作,而不是与之对抗。采用更加整体性的方法,通过精心、自觉的努力,发挥生态系统的服务功能,更有利于涉水风险、易变性和气候变化等领域的治理。

尽管基于自然的解决方案正日益成为国际社会关注的热点议题,但有关其多维影响和协同效应的量化评估尚缺乏深入的研究及论证。作为向更全面水资源管理方法转变的创新应对方式——基于自然的解决方案,是否可以长远地促进水资源的安全和提供多种效益?如何更好地发挥基于自然的解决方案的作用,以实现防洪目标与其综合效益的最大化?上述问题是当前亟待我们深入探讨的一个重要研究课题。

一、文献综述

人与自然生态相互依存、互惠互利的概念是很多民族的文化信仰的基石,在传统知识体系中已有所体现。“基于自然的解决方案”由世界自然保护联盟(IUCN)^[2]正式定义:以可持续发展为目标,保护、管理、恢复自然或人工的生态系统,以解决社会问题,造福人类并改善生态多样性。这意味着人们对自然不再是被动地索取,而是主动保护自然,并利用自然解决社会问题。2009—2016

年,基于自然的解决方案这一概念在诸多国际组织的倡议下不断完善。2009 年,世界自然保护联盟在联合国气候变化框架公约(UNFCCC)^[3]立场文件中强调这一概念。2012 年,基于自然的解决方案被世界自然保护联盟设立为 2013—2016 年发展项目的三大领域之一,并确立了工作框架,使得基于自然的解决方案具备了一定的可操作性。欧盟委员会也将基于自然的解决方案定为“地平线 2020 研究”(Horizon 2020 Research)项目的重要部分,并投入科研资金,进一步证实基于自然的解决方案的有效性。除此之外,还有很多研究推动了基于自然的解决方案概念的发展^[4-7]。

基于自然的解决方案主要集中在自然领域,包括生态服务力、绿色/蓝色基础设施、生态工程、生态系统管理以及自然资本等。基于这种认识,人们开始将解决气候变化与城市问题的重心由传统工程(如建造防波堤)转移到基于自然的解决方案,通过保护生态系统和生物多样性来维护城市的可持续发展。但依然缺乏与经济市场、政府管理、商业贸易、社会问题等人文领域的结合。为此,欧盟在其城市环境专题策略^[8]中指出,城市是环境、经济、社会问题互相作用影响最凸显的领域,需要创造三者相结合的解决方式,来实现城市空间规划与土地使用可持续性和公平性的目标。2009 年以来,欧美国家开始从局限于生态系统的解决方案向结合社会人文的解决方案转型。

研究表明,基于自然的解决方案会对生态建设产生重要影响。如遵循自然的环境友好型工程建设可以助力生态系统恢复,从而推动绿色低碳经济发展和环境质量提升^[9]。从生态系统管理的角度来看,沿海地区生态环境保护有助于增强森林与湿地景观的空间连续性,提高生态系统健康水平和规模^[10]。在草原生态治理方面,地方政府通过草原生态补偿、住房补贴等资金支持方式,鼓励牧民自愿迁往中心城镇,让草场得以休养生息,有利于防范草原整体生态持续恶化^[11]。生态功能区是生态基础设施建设的重要区域,中央对地方生态功能区的财政转移支付是对生态外溢价值的补偿,可以引导生态功能区政府和居民保护生态

环境^[12]。此外,环境侵权制度建设也可以强化以生态修复为主的综合救济,抑制环境污染与生态破坏,增强生态系统的自适应能力,减缓气候变化^[13]。应尽可能避免依靠外部容量扩展来提高生态承载力,降低生态系统失衡所带来的环境风险和生态脆弱性^[14]。增强陆地生态系统碳汇可以降低二氧化碳浓度,抑制全球气候变暖^[15]。亦有学者研究提出,全球各国及相关环保机构加强合作是应对全球气候变化和完善环境治理体系、促进全球“碳政治”治理进程的重要手段,倡导并推行自然的解决方案至关重要^[16]。政府环境污染治理投资和征收环境保护税,可以促进污染企业绿色技术创新,推动企业生产方式绿色转型,实现产品生产绿色化、低碳化,提高全社会环境保护意识^[17]。

也有一些研究聚焦于基于自然的解决方案对城市问题解决的应用。概括起来,体现为五大类方法:一是生态系统恢复方法(例如生态恢复、生态工程、植树造林等),二是针对具体问题的生态方法(如基于生态系统的适应方法、生态系统的缓解方法、基于生态系统的减少自然灾害方法),三是生态基础设施方法(如建立自然或绿色基础设施),四是基于生态系统的管理方法(综合海岸线管理,综合水资源管理),五是自然系统保护方法(如区域性保护生态多样性方法)^[18]。在目前欧美的探索性实践中,这些方法主要用于应对十大生态建设挑战:适应气候变化、水资源管理、海岸线韧性、绿地管理、空气质量、城市重建、公共参与、社会公平与和谐、公共健康与卫生,以及绿色经济与就业。每一项城市问题都会有对应的衡量指标,通过这些具体的指标来评估基于自然的解决方案是否为有效的解决问题的途径。

在水资源的管理上,亦有一些关于自然解决方案的探讨。诸如洪涝灾害等风险管理,不仅涉及自然生态,而且还涉及人类活动与生产,需要对工程发电与生态效益展开更深刻的综合分析^[19],并利用科学研究和技术支持客观、清晰地呈现工程所带来的影响^[20]。亦有研究表明,仅建造基础设施越来越不可能保障未来的水安全性和抵御预测的气候变化影响的能力^[21]。通过利用森林、湿

地和洪泛平原等“自然基础设施”与水有关的服务,有助于应对水危机的风险,特别是应对未来的气候变化压力^[22]。如基于自然的解决手段来增加沿海植被的种植,不仅可以提高海岸线对抗气候变化的韧性,而且通过绿地的增加来提高城市居住环境和生活质量,使居民变得更健康。同时这一解决办法也将增加城市房产价值,提供绿色就业机会^[23]。当然,基于自然的解决方案也可能产生一些负面影响:随着城市房产价值的提高,原本低价的区域房租和房价可能上涨,这种下层住宅高档化会导致低收入人口的被迫迁移,以及他们居住质量的下降^[24-25]。

总体来说,基于自然的解决方案是一个复杂的系统,其针对种类繁多的问题提出尊重自然、利用自然的解决方案,颠覆了以往片面依赖工程技术手段来实施生态保护与治理的认知,提倡依靠自然的力量应对风险,为协同经济发展和生态环境保护、促进人与自然和谐共生提供了新思路。但基于自然的解决方案并不是排他或者完全替代其他应对方式,基于自然的解决方案需要与社会制度有效契合,交互促进。如当居民对于洪涝灾害的风险意识薄弱,占用洪泛区从事生产生活活动,以及大面积铺设不渗水地面时,不仅会导致洪涝灾害对城市建设与经济的毁坏,也会很大程度地削弱自然方案的效用与作为。尤其是涉及到诸多利益相关者,在统筹合作方面会有更高的要求。有鉴于此,本文基于鄱阳湖流域防洪这一问题导向,提出一种新的方法来支持绿色和灰色措施的选择,选取关键的基于自然的方案与社会制度的手段,使用参与式系统动力模型(system dynamics modelling, SDM),定量分析并可视化特定情境下两种手段交互作用的防洪效应,以及其对环境、社会、与经济所带来的综合效益,以期为洪水的风险管理和流域的可持续发展提供科学有效的决策依据。

二、方法、变量与模型

(一)方法

本文主要借助系统动力学的建模技术,构建参与式系统动力模型,进行风险管理方案的设计及多维影响效应的动态模拟。流域洪水的风险评

估及管理是一个系统的工程,大多数研究方法都是基于线性因果思维,事实上诸多影响因素之间乃至其响应之间均具有多重关联性和循环反馈性,使用参与式系统动力模型有助于复杂系统行为的研究,利益相关者在一定程度上参与过程的不同阶段(包括问题定义、系统描述、政策杠杆识别、模型开发等),通过利益相关者的集体知识,促进学习,以及建设性和有针对性的讨论,可以将整个系统转化为一组通过反馈循环相互连接的变量,分析探讨合适的系统行动策略,为决策者提供更清晰的基础支撑。整个过程本身也有利于促进那些参与决策过程人的意识和动机,推动更广泛的参与以及对具体问题的理解和认识。

具体来说,分为定性和定量建模2个阶段。在定性阶段,研究分为“发散性思维阶段”与“收敛性思维阶段”。在“发散性思维阶段”,本文对江西省水利、环保部门等相关责任单位与居民、企业等社会利益相关者进行了独立采访,通过他们的反馈进行风险感知分析,对比不同利益相关者风险感知之间的相似性和差异性。在此基础上,进入“收敛性思维阶段”,召开利益相关者研讨会,在分析人员的引导下,合并类似的选项,分析潜在的不一一致性,从而明确重要的风险管理目标,以及实现这些目标的最有效的措施。第一轮利益相关者研讨会,初步构建基于自然的解决方案(nature-based solutions, NBS)与社会制度手段(socio-institutional measures, SIM)解决防洪问题的4个关键模块,包括洪灾规模、社会影响、经济影响与生态影响,共同讨论确定了16个自变量(基于自然解决方案的变量7个,社会制度手段的变量9个)与15个因变量(洪灾规模5个,社会影响4个,经济影响3个,生态影响3个),通过打分制为这些变量赋值。需要说明的是,本文中的社会制度手段指的不是辅助基于自然的解决方案的政策手段,因为辅助基于自然的解决方案的政策手段归根结底仍产生的是自然层面的影响。本文中的社会制度手段指的是通过资金、机构与教育等方面对居民意识与生产生活等社会层面进行影响的手段,包括资金支持、机构合作、区域控制、培训、社区参与、检测

与警报系统、保险政策与基础设施的维护等。

在定量阶段,本文分为参与式系统动力模型的建模阶段以及分析和验证阶段。在参与式系统动力模型建模阶段,本文组织第二轮利益相关者与专家座谈会,将变量间的网状相互影响的关系总结为数学模型,并通过流程图的形式在 Stella Architect 中构建出来。在模型的分析 and 验证阶段,本文组织利益相关者座谈会共同设计了 3 种情景,分别为原始情景、主攻基于自然解决方案的情景与主攻社会制度手段的情景,依据不同情景为自变量赋值,通过模型的交互影响,分析不同情景中洪灾规模、社会影响、经济影响与生态影响的因变量随时间变化的情况。

(二) 变量

研究基于自然的解决方案与社会制度手段

如何影响洪灾规模,并在此基础上进一步讨论其所衍生的社会、经济与生态的综合效应的能力。因此,本文基于对多利益相关者主体广泛深入调研的基础上,组织专家讨论筛选出鄱阳湖流域在防洪工作上的 7 个基于自然的解决方案与 7 个社会制度手段作为自变量。自变量的值域在 0 ~ 1 之间,0 代表没有实施或没有效果,1 代表全部实施,数值越高代表实施力度越大并效果越显著。其中,0 ~ 0.3 代表实施力度较轻,0.4 ~ 0.6 代表实施力度中等,0.7 ~ 1 代表实施力度较强。

在因变量方面,5 个属于洪灾规模模块,4 个属于社会影响模块,3 个属于经济影响模块,3 个属于为生态影响模块。表 1 详细解释了这 31 个变量的具体含义。

表 1 模型变量

分类		名称	描述
自变量	基于自然的解决方案	河流重回自然化	限制人类对河流的影响,恢复河流的生态条件(例如恢复河边的动植物群落)
		滞洪池效力	滞洪池临时或永久的储水量
		湿地恢复	对于湿地恢复的力度;指湿地可以在洪涝灾害时起到储水和分洪的作用
		分水岭重回自然化	恢复分水岭的自然生态系统,如退耕还林
		开放洪泛区	拆除河岸堤坝,使河流与洪泛区连接,提高洪水峰值的泄洪作用
		水土保持	有效地保持当地的水土,避免耕作层的流失,从源头上限制江河水库的泥沙淤积
		去除障碍物	包括疏通泥沙淤积等去除河岸横向和纵向的障碍物
	社会制度手段	资金支持	国家与地方的资金支持城市规划和维护
		机构合作	区域及区域之间的机构与社会组织在洪涝风险管理方面的交流、互动、与合作的频率和有效性
		培训	提高社区风险意识的培训活动
		社区参与	提高社区抗洪参与度的活动
		检测与报警系统	洪涝灾害的监测与预警系统的条件与运行状况
		降低个人风险的资金支持	旨在帮助个人提高抗洪涝灾害的能力的资金
		条例禁止	在湖泊管理范围内,禁止从事有碍湖泊保护或者行洪的活动
		奖励制度	对保护湖泊成绩显著的单位和个人,按照有关规定给予表彰奖励
		保险政策	有效控制洪涝灾害带来的经济损失的保险政策
		湖泊水位	鄱阳湖水位的(米)
因变量	洪灾规模	不渗水区域	水泥地面占城市地面的百分比
		地下水水位	地下水高度深度(米)
		洪泛区占用率	洪泛区被生产生活活动占用的百分比
		排污系统水平	排污、排水系统的有效程度
		城市 and 区域规划执行情况	区域的规划与执行力度
	社会影响	个人抗风险能力	个人抗洪涝风险的能力,包括抗经济损失能力、抗健康安全威胁等能力
		防洪风险意识	流域内居民对于洪涝灾害的风险意识
		社区安全	社区的安全性,包括是否会出现积水、社区设施遭到破坏等
	经济影响	建筑物破坏程度	建筑物、公路等建筑设施遭到洪水破坏的百分比
		城市经济生产力	城市 GDP 水平
		农业生产能力	农作物产量水平
	生态影响	生态系统完整性	生态系统的宏观健全度
		生物多样性	物种多样的程度
		生态生产力	自然生态因素在生产力发展中的支撑作用

(三)模型

本文以鄱阳湖流域为实例进行调研,采用利益相关者的多方、多过程的参与方式,将定性定量分析模式相结合,根据当前鄱阳湖流域的实际情况与政策,以及最关心的防洪目标选定变量与参数构建模型。模型基于 Stella Architect 软件,可方便地设置模拟输入条件,并可视化地展现输入变量改变下的系统内部的运行和结果。

模型的主要假设:一是,模拟的时间期间为 50 年。这主要考虑到基于自然的解决方案和社会制度手段的影响效应,可能需要一个较长的时间跨度来逐步降低洪涝的风险。二是,模拟的时间单元为 1 年,分析基于恒定降雨事件(50 年重现期)的不同管理情境下的影响。三是,通过参与性活动所收集的知识信息、学习交流等确定模型的变量和关联关系。四是,自变量以无量纲形式表示,范围从 0~1(或 100%)。模型的目的是为了对基于自然的解决方案和社会制度手段效果进行定量的有效性评估,而不是为了进行半定量的比较分析。

模型主要包括 6 个模块和 2 个部分。6 个模块是指基于自然的解决方案和社会制度手段 2 个自变量模块以及洪灾规模、社会影响、经济影响与生态影响 4 个因变量模块。6 个模块中的变量选取在表 1 中已经呈现,不再赘述。2 个部分中的第 1 部分探讨基于自然的解决方案以及社会制度手段实施对洪灾规模的影响,即在降雨强度、长江来水等自然因素既定的情况下,由于基于自然的解决方案和社会制度手段的实施对鄱阳湖流域的湖泊水位、不渗水区域、地下水水位、洪泛区占用率以及排污系统水平产生作用,进而影响鄱阳湖流域的洪涝灾害的机理过程。第 2 部分在第 1 部分的基础之上,进一步探讨受基于自然的解决方案和社会制度手段这两者作用的洪灾规模对生态、经济和社会的影响效益。模型中基于自然解决方案的自变量以圆环形图标表示,社会制度手段的自变量以六边形表示。整体来说,模型将系统反应基于自然的解决方案与社会制度

手段这两种治理手段在鄱阳湖流域防洪的作用路径与交互影响,综合考证基于自然的解决方案在降低洪涝灾害风险和产生多维多赢协同效应方面的潜力。

1. 基于自然的解决方案与社会制度手段对洪灾规模的影响

模型中洪灾规模模块主要包含了“洪泛区占用率”“湖泊水位”“地下水水位”“不渗水区域”以及“排污系统水平”5 个变量,这 5 个变量将共同决定在降雨量和长江来水量的作用下,鄱阳湖流域的洪涝灾害发生情况。图 1 中展示了基于自然的解决方案和社会制度手段对洪灾规模的影响机理。影响洪灾规模的 2 个最主要的外生变量(即五河流域的降雨量以及长江来水),这 2 大变量主要由气候环境决定,故作为模型的外生变量。洪灾规模模块中的变量都可以受到由人类主导的因素所影响,故将其作为内生变量。首先对“洪泛区占用率”而言,在基于自然的解决方案中主要由“开放洪泛区”“河流重回自然化”“分水岭重回自然化”直接影响“洪泛区占用率”。社会制度手段中的“条例禁止”和“机构合作”也会直接作用于鄱阳湖的洪泛区占用率。其余的社会制度手段主要通过影响其他模块中的变量间接作用于“洪泛区占用率”。如“资金支持”和“机构合作”通过影响“城市和区域规划执行情况”来影响“洪泛区占用率”,“培训”“奖励制度”和“社区参与”通过影响“社区风险意识”来影响“洪泛区占用率”。“湖泊水位”是洪灾规模模块中另一重要的变量。“湖泊水位”受模型中所有基于自然解决方案变量的直接影响,同时洪灾规模模块中的其他变量也会对湖泊水位产生影响,如“洪泛区占用率”和“地下水水位”会直接作用于“湖泊水位”。“不渗水区域”主要受到社会制度手段对其他模块变量的影响而产生作用,主要由“资金支持”和“机构合作”对“城市和区域规划执行情况”产生影响后作用于“不渗水区域”。“排污系统水平”主要受“资金支持”“机构合作”这 2 个社会制度手段变量的影响。

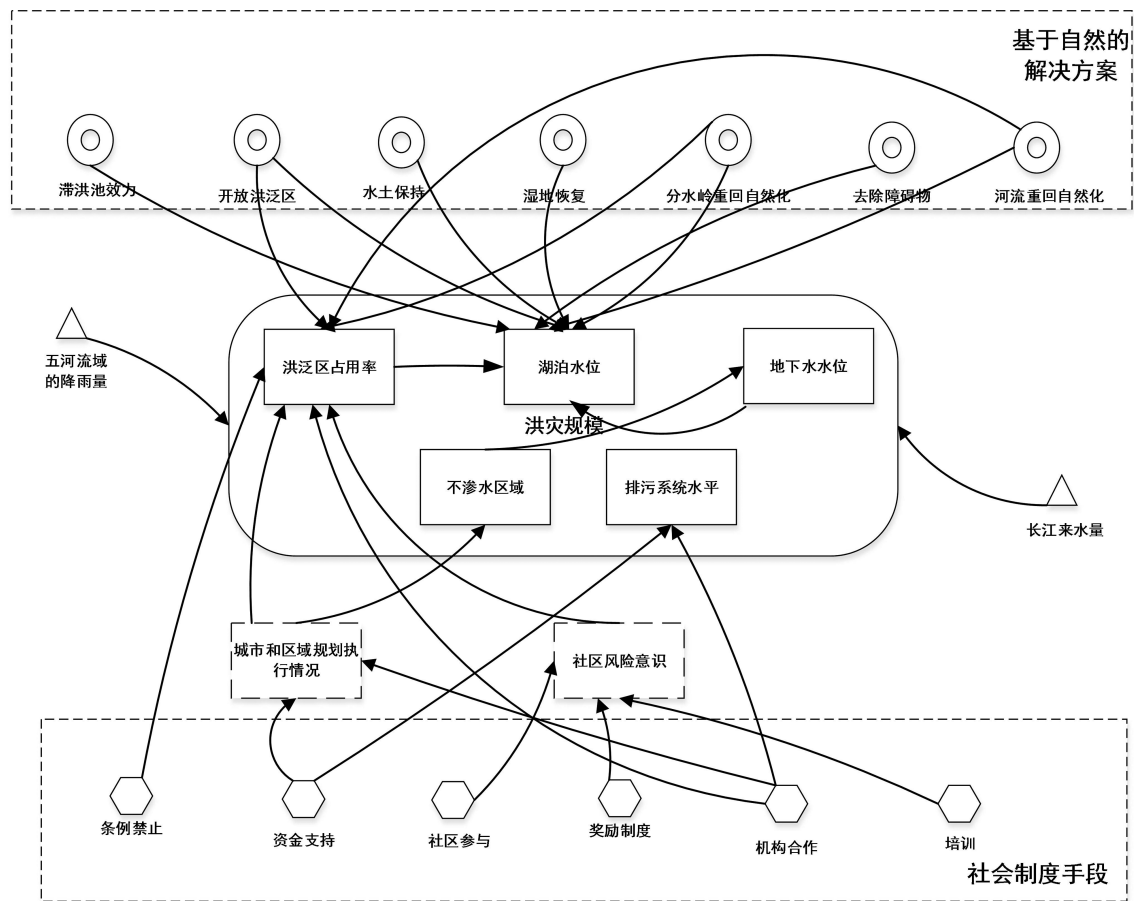


图 1 基于自然解决方案和社会制度手段对洪灾规模的影响机理

2. 基于自然的解决方案与社会制度手段对生态、经济、社会的影响机理

在前述研究的基础上,本文将进一步探讨基于自然的解决方案和社会制度手段的实施对生态、经济、社会方面而造成的影响。影响机理如图 2 所示。

首先是经济影响模块,“建筑物的破坏程度”是经济影响模块中受洪灾规模影响最直接的变量,洪灾规模的大小直接决定了“建筑物的破坏程度”,因此基于自然的解决方案和社会制度手段中对洪灾规模产生影响的变量均直接或间接地影响到鄱阳湖流域的建筑物破坏程度。另外“建筑物破坏程度”还受到社会影响模块中的“城市和区域规划执行情况”的影响。“城市经济生产力”主要受到经济影响模块中“建筑物破坏程度”以及“城市和区域规划执行情况”的影响。鄱阳湖流域的围湖造田现象十分突出。围湖造田尽管提高了农业生产力,但是也侵占了鄱阳湖的洪泛区。因此

基于自然的解决方案中的“开放洪泛区”“水土保持”以及社会制度手段中的“条例禁止”等都会影响到农业生产力。社会制度手段中的“保险政策”则作用于整个经济影响模块,可以提高经济系统在面临洪灾时的韧性。

其次是社会影响模块。社会影响模块中的“城市和区域规划执行情况”受到“资金支持”和“机构合作”的直接影响。“个人抗风险能力”主要受到社会制度手段中“降低个人风险的资金支持”“奖励制度”“培训”的影响,同时社会影响模块中的“社区风险意识”也会影响到“个人抗风险能力”。“社区安全”受社会制度手段中“检测与报警系统”与“社会参与”的影响,也受到社会影响模块中“区域规划执行情况”及“个人抗风险能力”的影响。“社区风险意识”受到“培训”“奖励制度”“社区参与”以及“检测与报警系统”的直接影响,同时社会影响模块中的“社区安全”也会影响到社区风险意识。

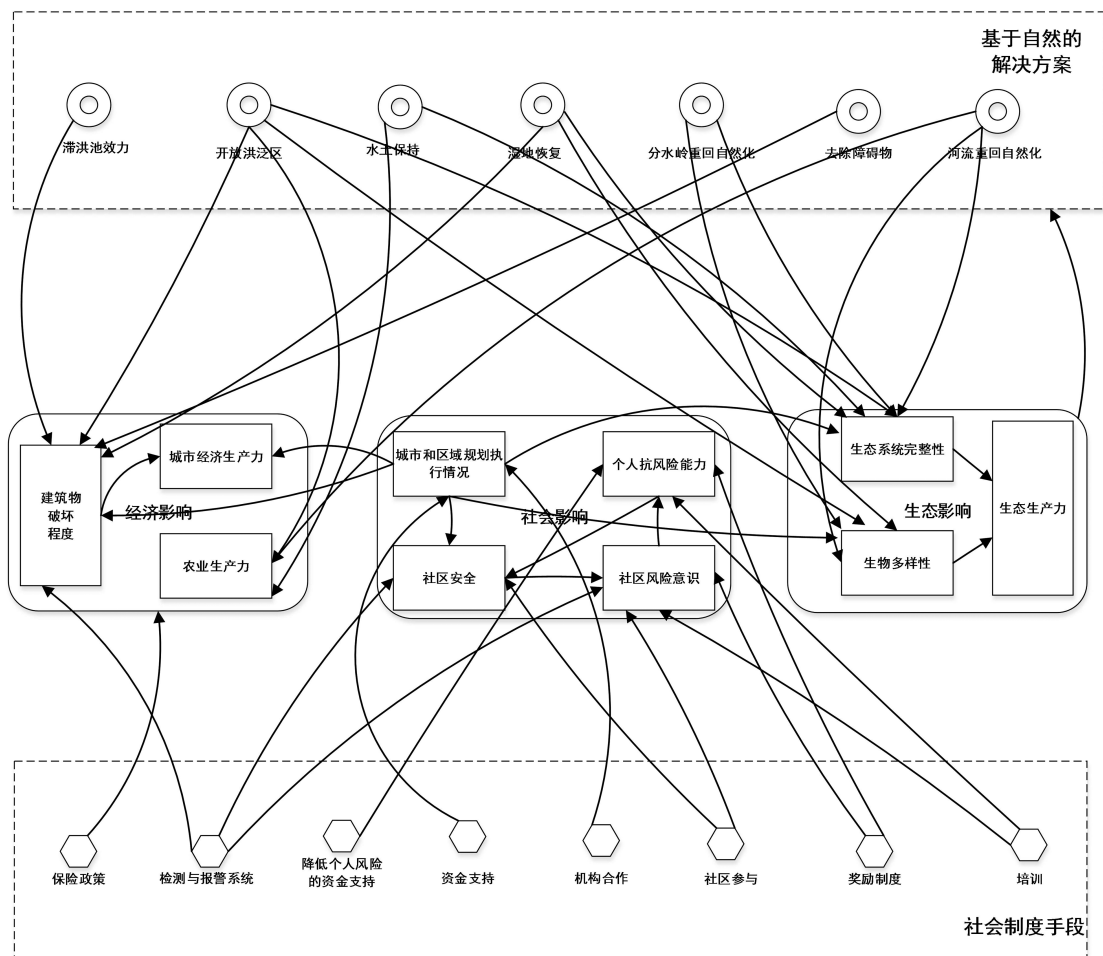


图2 基于自然解决方案和社会制度手段对生态、经济及社会的影响机理

最后是生态影响模块。生态影响模块中的“生态系统完整性”受到基于自然的解决方案中大部分变量的影响,其中包括“开放洪泛区”“水土保持”“湿地恢复”“分水岭重回自然化”以及“河流重回自然化”。社会影响模块中的“城市和社区规划执行情况”也会影响到“生态系统完整性”。“生物多样性”与“生态系统完整性”高度相关,因此“生物多样性”也往往受到与“生态系统完整性”一样的影响。“生物多样性”受到基于自然的解决方案中大部分变量的影响,其中包括“开放洪泛区”“水土保持”“湿地恢复”“分水岭重回自然化”以及“河流重回自然化”。社会影响模块中的“城市和社区规划执行情况”也会影响到“生物多样性”。“生态生产力”主要受生态影响模块中的“生态系统完整性”以及“生物多样性”影响。整个生态影响模块可以反馈到基于自然的解决方案,影响其实施效果。

三、情景分析

(一)情景设计

本文设计了3种情景,通过模型分析,在未来50年,不同的基于自然的解决方案与社会制度手段相组合会怎样影响洪水对鄱阳湖的社会、经济与生态情况。第1种情景中所有基于自然的解决方案与社会制度手段保持原状,即没有对任何一种手段的实施情况进行提高。第2种情景着重于提高基于自然解决方案的措施力度,将基于自然的解决方案中“滞洪池效力”“湿地恢复”“分水岭重回自然化”“水土保持”“开放洪泛区”5个举措实施程度被分别从20%提高至60%,30%提高至70%,10%提高至50%,20%提高至50%,20%提高至60%。同时,将社会制度手段中“培训”的实施程度从30%提高至70%。第3种情景则着重于社会制度手段,将“资金支持”“培训”“检测与报警系统”“条例禁止”“保险政策”这5个社会制度手段的实施程度分别

从 40% 提高至 80%, 30% 提高至 70%, 30% 提高至 70%, 30% 提高至 70%, 20% 提高至 60%, 仅将“分水岭重回自然化”这 1 个基于自然的解决方案的实施力度从 10% 提高至 50%。如表 2 所示。

表 2 3 种情景中的变量赋值

分类		名称	情景 1: 原始情景	情景 2: 主攻基于 自然的 解决方案	情景 3: 主攻社会 制度手段
自变量	基于自然的 解决方案	河流重回自然化	0.3	0.3	0.3
		滞洪池效力	0.2	0.6	0.2
		湿地恢复	0.3	0.7	0.3
		分水岭重回自然化	0.1	0.5	0.5
		水土保持	0.2	0.5	0.2
		开放洪泛区	0.2	0.6	0.2
		去除障碍物	0.2	0.2	0.2
	社会制度 手段	资金支持	0.4	0.4	0.8
		机构合作	0.2	0.2	0.2
		培训	0.3	0.7	0.7
		社区参与	0.3	0.3	0.3
		检测与报警系统	0.3	0.3	0.7
		降低个人风险的资金支持	0.2	0.2	0.2
		奖励制度	0.2	0.2	0.2
		条例禁止	0.3	0.3	0.7
		保险政策	0.2	0.2	0.6

(二) 情景对比分析

1. 洪灾规模对比

洪灾规模模块主要关注“洪泛区占用率”与“不渗水区域”2 个因素。

在情景 1 中,随着城市化进程的推进,“洪泛区占用率”在未来 50 年保持略微上升的趋势,而

“不渗水区域”则持续增长,在未来 25 年内缓慢增长,25~50 年加速增长。

在情景 2 中,“不渗水区域”呈轻微下降趋势。“洪泛区占用率”在前 10 年保持基本持平,第 10~35 年处于下降趋势,第 35~50 年开始缓慢增长。“洪泛区占用率”的下降主要是由于“分水岭重回自然化”“开放洪泛区”两个基于自然的解决方案实施力度增加,阻碍了鄱阳湖流域“围湖造田”现象的扩张。“洪泛区占用率”前 10 年的持平体现了基于自然的解决手段从实施到见效具有一定滞后性。大约 35 年之后,“洪泛区占用率”又呈增长态势,这在某种程度上说明,仅仅使用基于自然的解决方案虽然可以使问题得到解决,但巩固这一成果,使其长期保持作用,需要依靠社会制度手段在居民的社区风险意识上的提高与长期城市规划上的改变。

在情景 3 中,“不渗水区域”与“洪泛区占用率”均呈现出先下降后平稳的发展趋势。其中快速下降时期为前 25 年,在大约 25 年之后“不渗水区域”与“洪泛区占用率”相继平稳,不再下降。这证明“社区风险意识”“资金支持”以及“区域规划执行情况”等社会制度手段加强的态势下,洪灾规模风险能够在短期内得到控制,但是从长期来看,社会制度手段的效果并不理想。

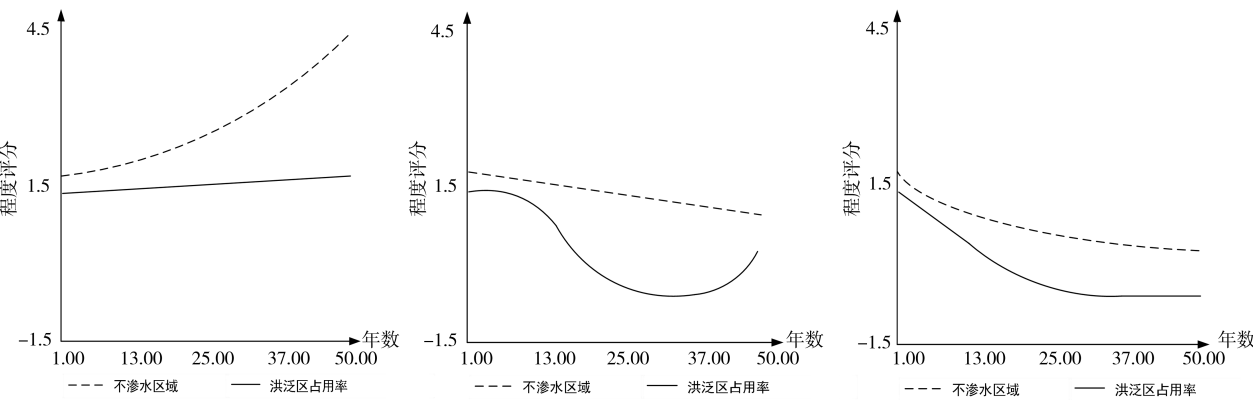


图 3 洪灾规模:3 种情景对比

2. 社会影响对比

洪水对于鄱阳湖流域的社会影响主要体现在“城市和区域规划执行情况”“个人抗风险能力”“社区风险意识”与“社区安全”这四个因素上。基于前面的情景设置以及 3 种情景下的洪灾规模反映,我们进一步

分析 3 种情景下的鄱阳湖流域的社会影响。

情景 1 中,由于“不渗水区域”和“洪泛区占用率”的逐步上升,相应遭受的洪灾规模会提升,“城市和区域规划执行情况”和“社区风险意识”逐年提高,而“个人抗风险能力”则逐年降低。“社区安

全”在前5年内处于降低趋势,在5年后基本持平。

情景2中,受益于基于自然解决方案的实施,社区遭受的洪灾规模相应降低。但由于“资金支持”“机构合作”等与“城市和区域规划执行情况”相关的社会制度手段并没有得到提升,“城市和区域规划执行情况”在10年后开始降低。由于没有增强“降低个人风险的资金支持”这一社会制度手段,“个人抗风险能力”依然处于逐年降低的状态。同时,受“城市和区域规划执行情况”与“个人抗风险能力”走低的影响,“社区安全”在前35年里呈

下降趋势,而稳步上升的“社区风险意识”和较高的“检测与报警系统”实施力度使“社区安全”在之后开始得到回升,并稳定维持在高于原始基础的水平。

情景3中,“资金支持”与“培训”的实施力度提升使得“城市和区域规划执行情况”和“社区风险意识”保持提升趋势。“检测与报警系统”的实施力度增强则使“社区安全”在5年内实现大幅提升,并在50年中保持在稳定水平。由于“个人风险的资金支持”长期以来没有得以增强,“个人抗风险能力”依然处于持续走低的状态。

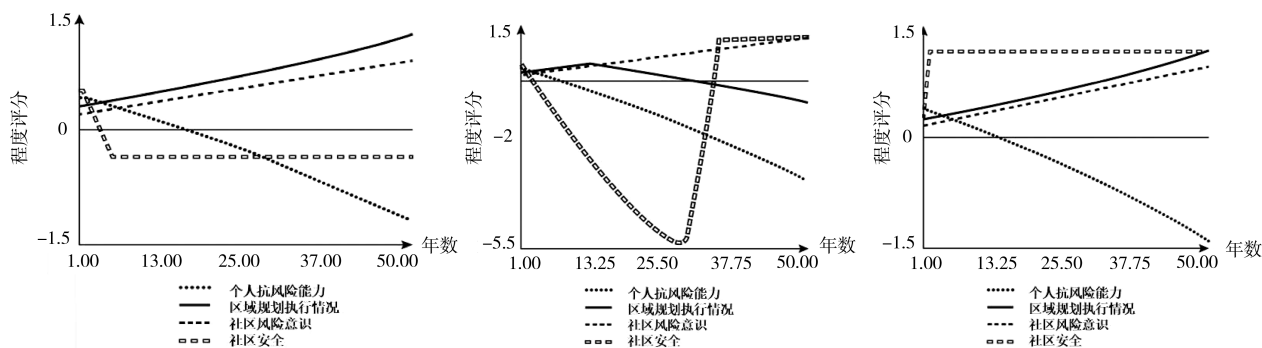


图4 社会影响:3种情景对比

3. 经济影响对比

洪水对于鄱阳湖流域的经济影响主要体现在“城市经济生产力”“农业生产力”“建筑物破坏程度”等(洪水造成的)经济损失程度上。

情景1中,由于城市化进程的加快,鄱阳湖流域“城市经济生产力”在50年内呈上涨的趋势。由于洪泛区占用率的上升较为缓慢,鄱阳湖流域“农业生产力”在50年内也呈现出了缓慢上升的态势。基于洪灾规模的情景1分析,50年内鄱阳湖流域的“不渗水区域”以及“洪泛区占用率”的持续上升,流域内的洪灾规模也会相应上升,因此“建筑物破坏程度”在50年内持续呈现上涨态势,但上涨速度逐渐减缓。

情景2中,鄱阳湖流域的“城市经济生产力”在前30年保持缓慢上涨趋势,在30~50年逐渐持平。情景2使用的“分水岭重回自然化”会减少农田耕地的面积与农耕强度,在实施初对农业生产力

的增长产生一定限制作用。因此,情景2中“农业生产力”的趋势与情景1相比,会呈现出逐步下降的趋势。同时,基于洪灾规模的情景2分析,由于鄱阳湖流域“洪泛区占用率”的先下降后上升的趋势变化,情景2中“农业生产力”也在30年开始逐渐上升。最后,鉴于基于自然解决方案的时滞性(基于自然解决方案有效减缓洪水对于城市的威胁往往是在方案实施若干年后才能产生效用),鄱阳湖流域的“建筑物破坏程度”预测表现为前十年的变化不大,10年后“建筑物破坏程度”才开始加速下降。

情景3中,鄱阳湖流域的“城市经济生产力”在前20年一直处于增长趋势,在20年左右趋于平缓。其次,与情景2存在不同的是,鄱阳湖流域的“农业生产力”呈现出了先下降后平稳的趋势,“建筑物破坏程度”在社会制度手段之后就快速下降。这表明,使用社会制度手段会很快地给“建筑物破坏程度”与“农业生产力”带来影响,但从长期看在

30 年左右对两个生产力的影响将不再明显。“城市经济生产力”与情景 2 基本一致,只是持平的节点提前至 20 年左右。这表明,偏重基于自然的解决方案与偏重社会制度手段的方法组合均可实现

洪水的控制,保证“建筑物破坏程度”与城市经济损失的持续下降,只是偏重基于自然的解决方案的方法组合存在一定时滞性,而偏重社会制度手段的方法组合存在短期性。

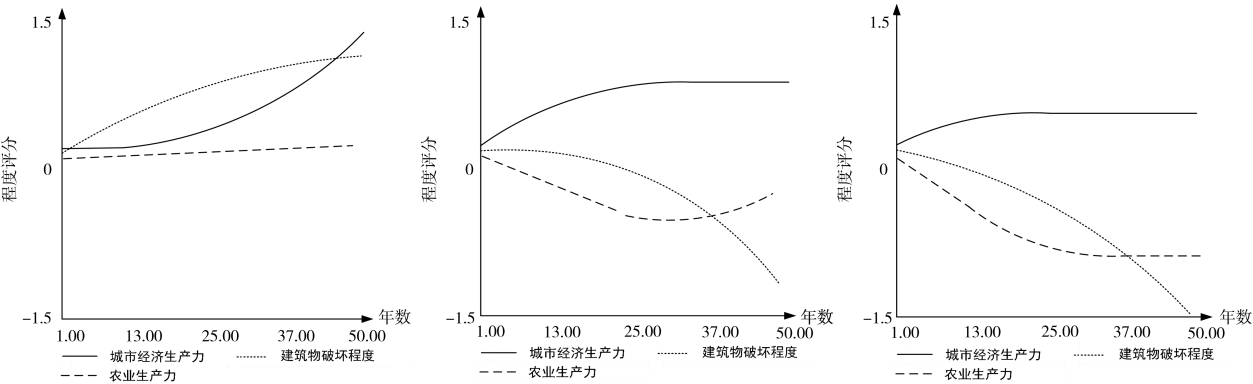


图 5 经济影响;3 种情景对比

4. 生态影响对比

洪水对于鄱阳湖流域的生态影响主要体现在“生态系统完整性”、“生物多样性”与“生态生产力”这 3 个因素上。

情景 1 中,“生物多样性”在前 20 年呈逐渐下降趋势,在 20 年后开始持平。“生态系统完整性”则一直呈下降趋势。由于对自然资源利用的加强,“生态生产力”在 20 年前呈现明显上升趋势,在 20 年之后随着“生物多样性”以及“生态系统完整性”的持续下降,“生态生产力”又表现出明显的下降趋势。这样看来,在不提高任何基于自然的解决方案或社会制度手段实施力度的情况下,鄱阳湖流域的生态系统以及社会对于生态保护的意识都会在长期有所下降。

情景 2 中,“生态系统完整性”前 10 年基本持平,但在第 10~35 年间出现了明显的上升,之后又趋于平稳。“生态系统完整性”的基本上涨态势是由于“滞洪区效力”、“分水岭重回自然化”“水土保持”“湿地恢复”以及“去除障碍物”等基于自然的解决方案实施力度的增强。“生态生产力”在前 35 年逐渐下降,之后快速上升,这一变化趋势与情景 2 中“农业生产力”相似。“生物多样性”在情景

2 中呈现出了先下降后上升并最终趋于平稳的态势,这可能是因为基于自然的解决方案实施之前鄱阳湖流域的生态环境破坏情况存在一定的惯性,因此尽管实施了基于自然的解决方案,也没能造成“生物多样性”的及时扭转,之后由于“生态系统完整性”的逐步提升,“生物多样性”才逐步得以恢复。最后“生物多样性”的平稳证明基于自然解决方案的实施对“生物多样性”的作用有限。

情景 3 中,“生态系统完整性”与“生态生产力”分别呈现出先上升后平稳和先下降后平稳的趋势。这是由于偏重社会制度手段的情景 3 在短期内降低了“不渗水区域”和“洪泛区占用率”,保障了“生态系统完整性”,牺牲了部分的“生态生产力”。与情景 2 相似的是,情景 3 中的“生物多样性”也呈现出了先下降后上升并最终趋于平稳的态势。原因依然是鄱阳湖流域的生态环境破坏存在一定的惯性,但是由于“生态系统完整性”的逐步提升,“生物多样性”逐步得以恢复。最后,偏重社会制度手段的情景 3 中,“生态系统完整性”“生物多样性”与“生态生产力”均经历了变化后趋于平稳的情况,这证明社会制度手段较基于自然解决的方案而言,存在更明显的短期性。

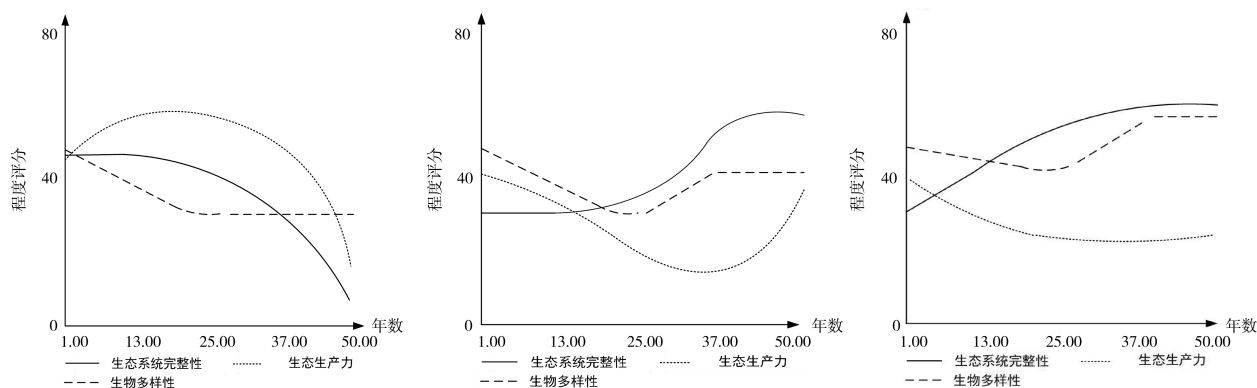


图6 生态影响:3种情景对比

四、拓展分析

为探讨基于自然的解决方案和社会制度手段实施对鄱阳湖流域洪灾规模以及因此而衍生的生态、经济和社会的影响,研究选取鄱阳湖流域案例,建立了参与式的系统动力模型分析基于自然解决方案和社会制度手段发挥作用的逻辑机理,并进一步设置情景分析了两种手段的交互效果,半量化评估基于自然解决方案与社会手段结合所产生的综合效益并进行可视化呈现,使基于自然解决方案的应用、评估及分析的领域不断深化,为更科学有效地利用基于自然解决方案提供了一定的理论依据与决策模型。研究发现:较之于传统“灰色”的解决方案,基于自然解决方案和社会制度手段同样可以达到防洪以及减轻洪涝灾害的目的,不同于“灰色”措施可能会带来生态系统退化等问题,基于自然解决方案和社会制度手段的实施不仅能够达到防洪目的,还具备一定的生态、经济以及社会效益,因此尽管实施效果具有一定的时滞性,基于自然解决方案和社会制度手段的综合利用在流域防洪工作中也应当占据一席之地。本文还为未来洪水风险模型、水文学模型、水力学模型、洪灾损失评估模型、工程风险分析模型等的定量分析奠定了一定的研究基础,为政府洪水管理决策、经济发展模式选择等提供一定的量化依据。但由于动因响应关系的复杂性,不同区域、不同部门的专家和利益相关者对其辨识不完全一致,故而还需在今后的实践过程中进一步优化。

五、结论与对策建议

(一) 结论

(1) 基于自然的解决方案和社会制度手段均直接或间接地作用于影响洪涝灾害的关键要素,以达到防洪以及减轻洪涝灾害的目的。但除具有减缓洪灾风险的潜力之外,基于自然的解决方案和社会制度手段同时还对经济、社会 and 生态等都具有明显的衍生效应,能够带来多维多赢的协同共同收益。

(2) 基于自然的解决方案发挥其作用很大程度上是通过不断反馈与循环的机制机理逐渐调节生态而传递的,因此在情景分析的结果中,基于自然的解决方案较之社会制度手段其效果呈现出了更明显的时滞性。相比之下,大部分社会制度手段(如保险政策、资金支持、检测与报警系统)见效快。如基于自然解决方案中的河流重回自然化与湿地恢复会要求沿岸农田退耕还林、还湿地,这会大大减少耕地面积,在短时间内可能会给农业生产能力造成一定限制。基于自然解决方案中的开放洪泛区会要求洪泛区的居民与商业撤离,这亦会在短期给流域的经济造成一定影响。基于自然解决方案与社会制度手段不同的时效性可以帮助决策者更好地根据目标来进行策略的选择与规划。

(3) 基于自然的解决方案和社会制度手段是防洪减灾不可或缺的两种策略,为保持基于自然解决方案的长期效用,必须要在社会制度手段上提升社会层面对防洪的安全意识以及对生态价值的认可。而要保持社会制度手段的长期效用,也

必须有一定的基于自然解决方案作为基础。例如,洪泛区占用率在情景 2 与情景 3 中均处于下降趋势,但缺乏社会制度手段的情景 2 中,洪泛区占用率会在 35 年后反弹增长,表明基于自然解决方案的长期效力需要依靠社会制度手段在居民的社区风险意识上的提高与长期的区域规划上的改变。然而,经济与农业生产力的长期增长出现在偏重基于自然解决方案的情景 2,而非偏重社会制度手段的情景 3,这亦表明基于社会制度手段的因素需要以基于自然解决方案为基础,以长期保持效力。

(二) 对策建议

一是,加强基于自然解决方案和社会制度手段在流域防洪工作中的应用,这有助于提高应对气候风险的能力,提升生态系统的完整性和社会经济系统韧性。从自然中获得启示,通过模仿、修复和利用自然,逐步替代原有的灰色技术手段,推动新时期生态治理理念由被动防护向主动出击、由人工干预向人与自然结合的彻底转变,走人与自然和谐共生的现代化道路。

二是,融入国家或者区域发展方略,因地制宜地根据不同层面和尺度来规划和设计基于自然的解决方案。基于自然的解决方案需要跨学科的专业知识为支撑,以科技计划为保障,在科学评估的基础上制定适于当地实际情况和风险类型的发展规划,明确实施路线图、优先事项、预期效益和监管机制等内容,并将其纳入地区或者流域的综合性、系统性的长远规划,以确保项目的执行力度和有效性。建议采取循序渐进的方式来动态推进基于自然解决方案,避免操之过急而引起的民众误解以及社会冲突的发生。

三是,推动基于自然解决方案与其他多种管理方案的有效结合。基于自然的解决方案并非解决发展问题的“万能方案”,不能孤立推进。受制于当下发展水平,不能完全抛弃传统的管理手段,可以对原有工程技术手段实施生态化改造,亦可以加强自然解决方案与社会制度手段的结合,在提高认知、制度规范、保险支撑等举措下,更有利于基于自然解决的方案的推行实施,同时克服其

时滞性的缺陷,指向可持续发展的有效途径。

四是,强化多主体的参与,这既是生态文明治理现代化建设的现实需要,也是提高基于自然解决方案有效性和广谱性的客观要求。基于自然解决方案主张发展和保护的双赢,势必涉及多方利益,难免要在此消彼长的各类细化目标中进行权衡。目前,基于自然解决方案更广泛地推行仍受到一些不确定因素的阻碍,通过多主体的参与、全过程的交流与沟通,推动设计过程不断改进,有助于凝聚共识,明确主要目标,综合不同种类的措施,探索不同受益者和共同利益之间的潜在权衡,提高基于自然解决方案的风险管理效益和经济社会环境协同收益。

参考文献:

- [1] 卢程伟. 流域水库群蓄滞洪区综合防洪调度研究与应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019: 6-10.
- [2] IUCN. No time to lose: make full use of nature-based solutions in the post-2012 climate change regime [EB/OL]. (2009-12-18) [2022-11-28]. <https://www.docin.com/p-1514959120.html>.
- [3] UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change [EB/OL]. (1992-05-09) [2022-11-28]. <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>.
- [4] BOATENG E A, ASIBEY O M, COBBINAH B P, et al. Enabling nature-based solutions: innovating urban climate resilience [J]. Journal of environmental management, 2023 (332): 117433.
- [5] PINO D P D, MARQUEZ F J. Complementary ideas for the implementation of nature-based solutions [J]. Environmental science & policy, 2023(141): 146-157.
- [6] VAGGE I, CHIAFFARELLI G. Validating the contribution of Nature-Based Farming Solutions (NBFS) to agrobiodiversity values through a Multi-Scale Landscape Approach [J]. Agronomy, 2023, 13(1): 233-233.
- [7] WIJSMAN K, BERBES-BLAZQUEZ M. What do we mean by justice in sustainability pathways? commitments, dilemmas, and translations from theory to practice in nature-based solutions [J]. Environmental science & policy, 2022(136): 377-386.
- [8] European Union. Thematic strategy on the urban environment [EB/OL]. (2006-01-11) [2022-11-28].

<https://europeanlaw.lawlegal.eu/thematic-strategy-on-the-urban-environment>.

- [9]陈晓红,唐湘博,李大元,等.构建新时代两型工程管理理论与实践体系[J].管理世界,2020,36(5):189-203,18.
- [10]崔莉.基于景观格局变化分析的沿海区域生态系统保护研究——以浙江沿海地区为例[J].管理世界,2018,34(6):72-82,93.
- [11]包智明,石腾飞.牧区城镇化与草原生态治理[J].中国社会科学,2020(3):146-162,207.
- [12]伏润民,缪小林.中国生态功能区财政转移支付制度体系重构——基于拓展的能值模型衡量的生态外溢价值[J].经济研究,2015,50(3):47-61.
- [13]吕忠梅,窦海阳.以“生态恢复论”重构环境侵权救济体系[J].中国社会科学,2020(2):118-140,206-207.
- [14]潘家华.与承载能力相适应确保生态安全[J].中国社会科学,2013(5):12-17.
- [15]杨元合,石岳,孙文娟,等.中国及全球陆地生态系统碳源汇特征及其对碳中和的贡献[J].中国科学:生命科学,2022,52(4):534-574.
- [16]郇庆治.“碳政治”的生态帝国主义逻辑批判及其超越[J].中国社会科学,2016(3):24-41,204-205.
- [17]刘金科,肖翊阳.中国环境保护税与绿色创新:杠杆效应还是挤出效应?[J].经济研究,2022,57(1):72-88.
- [18]李萌,娄伟.基于自然的解决方案理念及城市应用研究[J].城市,2020(7):17-28.
- [19]盛昭瀚,刘慧敏,燕雪,等.重大工程决策“中国之治”的现代化道路——我国重大工程决策治理70年[J].管理世界,2020,36(10):170-203.
- [20]李智国.澜沧江梯级开发的水治理:现状、挑战与对策[J].中国软科学,2012(1):100-106.
- [21]DALTON J, MURTI R. Utilizing integrated water resource management approaches to support disaster risk reduction [M]// SUDMEIER-RIEUS K, ESTRELLA M. The role of ecosystems in disaster risk reduction. Bonn, Germany: United Nations University Press, 2013: 8-16.
- [22]OZMENT S, DI FRANCESCO K, GARTNER T. The role of natural infrastructure in the water, energy and food nexus [C]// Nexus Dialogue Synthesis Papers. Gland Switzerland: IUCN, 2015: 22-36.
- [23]LARSON E. K. PERRINGS C. The value of water-related amenities in an arid city: the case of the Phoenix metropolitan area [J]. Landscape and urban planning, 2013(109): 45-55.
- [24]孔艳芳.房价、消费能力与人口城镇化缺口研究[J].中国人口科学,2015(5):33-44,126-127.
- [25]张莉,何晶,马润泓.房价如何影响劳动力流动?[J].经济研究,2017,52(8):155-170.

(本文责编:辛 城)